

Universität Zürich
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Vorsteher: Prof. Dr. med. dent. Ch. Hämmerle

Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
Direktor: Prof. Dr. med. dent. T. Attin

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. dent. T. N. Göhring

Einfluss der unterschiedlichen Kavitätenreinigung nach provisorischer
Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Benito Benitez
von St.Gallen

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. T. Attin
Zürich 2010

Verdankungen

Für die Überlassung des Themas danke ich Prof. Dr. med. dent. T. Attin.

Herrn PD Dr. med. dent. T. N. Göhring möchte ich für die Leitung und Planung der Studie und für die freundliche Unterstützung bei fachlichen Problem- und Fragestellungen sowie bei der Abfassung und Durchsicht meiner Dissertation danken.

Besonderer Dank gebührt Herrn F. Schmutz, in dem ich jederzeit einen Ansprechpartner und wertvolle Hilfe bei den Arbeiten im Labor gefunden habe und welcher mich in die Raster-Elektronen-Mikroskopie eingeführt hat.

Auch danke ich Frau M.-L. Lai und Frau B. Sener für ihre Unterstützung während der Arbeiten im Labor.

Herrn Dr. med. dent. J. Michel danke ich für das geduldige korrigieren der präparierten Versuchszähne, die Einführung in die CAD/CAM-Technik und die Hilfe bei der Inlayherstellung.

Für seine Hilfe bei Fragen rund um das CAD/CAM-System und das Korrekturlesen der Arbeit zum CAD/CAM-Teil danke ich Herrn Dr. med. dent. A. Ender.

Die Einführung in die Theorie der Lichtmikroskopie verdanke ich Frau Dr. sc. nat. A. G. Bittermann und Frau C. Aemisegger, welchen ich auch für die Instruktion am konfokalen Mikroskop und die Erarbeitung des Versuchsaufbaus danke.

Ich danke auch Frau Dr. Malgorzata Roos für die statistische Beratung, die Einführung in SPSS und StatView sowie die Hilfe bei der Analyse und Auswertung der Daten.

Frau H. Eschle danke ich für die Unterstützung bei der Literatursuche in der Bibliothek.

Weiter möchte ich allen, die mir die Arbeit an meiner Dissertation ermöglichten und erleichterten, ganz herzlich danken.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Einleitung	3
Literaturübersicht.....	4
Grund einer provisorischen Versorgung.....	4
Die adhäsive Befestigung.....	4
Einfluss der provisorischen Versorgung auf die Haftung	5
Bekannte Reinigungsprotokolle.....	6
Untersuchungsmethoden in In-vitro-Studien	12
Untersuchungsmethoden bekannter Studien	14
Ziel der Studie	16
Material und Methoden.....	17
Studienmaterial	17
Vorbereitung der Versuchszähne	18
Versuchsplanung und Gruppeneinteilung	20
Kavitätenpräparation	21
Abformung und Modellherstellung.....	23
Provisorische Versorgung	24
Herstellung der Inlays mittels CAD/CAM.....	24
Entfernung der Provisorien und Reinigung der Kavität	26
Inlay Insertion und Ausarbeitung	28
Belastung im Kausimulator.....	31
Schneiden und Replikaherstellung der Versuchszähne	32
Mikroskopie: Analyse der internen Adaptation	34
Statistische Methoden	41
Resultate	42
Raster-Elektronen-Mikroskopie	42
Konfokale Laser-Raster-Mikroskopie	49
Diskussion.....	55
Untersuchungsmethoden in In-vitro-Studien und deren Relevanz.....	55
Einfluss klinischer Faktoren.....	58
Versuchsaufbau der Studie	60
Ergebnisse der Raster-Elektronen-Mikroskopie	62
Interne Adaptation über den gesamten inneren Füllungsrand	62
Interne Adaptation im Schmelz	62
Interne Adaptation im Dentin	63
Einfluss der Reinigungsprotokolle	65
Ergebnisse der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie.....	70
Schlussfolgerungen	72
Materialliste	75
Versuchsmaterialien	75
Instrumente	76

Geräte und Maschinen	77
Elektronische Datenverarbeitung	78
Literaturverzeichnis	79
Publikationen	79
Verarbeitungsanleitungen	88
Abbildungsverzeichnis	89
Tabellenverzeichnis	93
Anhang	95
Abbildungen	95
Tabellen	100
Statistische Auswertung	102
Widmung	108
Curriculum Vitae	109

Zusammenfassung

Ziel der Studie

Die Herstellung laborgefertigter zweizeitiger Restaurationen erfordert eine provisorische Versorgung. Das Ziel der vorliegenden Studie war, den Einfluss der unterschiedlichen Kavitätenreinigung nach provisorischer Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays zu untersuchen. Es sollte die klinische Relevanz verschiedener Reinigungsprotokolle eruiert werden.

Material und Methoden

An extrahierten Molaren wurden Inlay-Präparationen durchgeführt. Es erfolgte eine provisorische Versorgung und anschliessend unterschiedliche Kavitätenreinigung unter Simulation möglichst klinischer Verhältnisse. Es wurden sieben Gruppen angefertigt. In der Gruppe I (Kontrollgruppe) wurden Inlays direkt nach der Präparation ohne provisorische Versorgung adhäsiv befestigt. In der Gruppe II erfolgte nach der provisorischen Versorgung eine Reinigung mittels Bimsstein und Nylonbürstchen. Eine Reinigung mit Pulverstrahlgeräten erfolgte in den Gruppen III (Natriumbicarbonat), der Gruppe IV (Aluminiumoxid) und der Gruppe VII (Glycin). In der Gruppe V (Nachfinieren) wurde die Kavität nach der provisorischen Versorgung mit einem Diamant-Finierer nachfiniert. Bei der Gruppe VI erfolgte ein "Cavity Sealing" direkt nach der Präparation und die Reinigung nach der provisorischen Versorgung mittels Bimsstein und Nylonbürstchen. An den Versuchszähnen wurde ein Dentinliquordruck simuliert und sie wurden einer thermomechanischen Belastung ausgesetzt. Die Dentin-Kunststoff-Verbundzone wurde mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) und das Penetrationsverhalten von Dentinadhäsiv und Dentinbond unter den verschiedenen Vorbehandlungen mit einem konfokalen Laser-Raster-Mikroskop (CLSM) analysiert.

Die Mittelwerte an kontinuierlichem Rand in den Versuchsgruppen wurden mittels der Ein-Weg-Varianzanalyse analysiert. Mittels des Post-Hoc-Tests nach Bonferroni wurde untersucht, welche Gruppen sich unterscheiden. Die Grauwert-Messungen der Penetration des Adhäsivsystems der CLSM wurden mittels des Kruskal-Wallis-Tests analysiert.

Ergebnisse

Es wurde ein statistisch signifikanter Einfluss der provisorischen Versorgung auf den Verbund zum Dentin adhäsiv befestigter Keramikinlays gefunden. Im Schmelz wurde kein signifikanter Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die interne Adaptation gefunden. Die Reinigung mit Bimsstein (Gruppe II) resultierte in $33.1 \pm 9.4 \%$ an kontinuierlichem Rand über die gesamte

innere Verbundzone. Dies war eine signifikant schlechtere interne Adaptation als die Kontrollgruppe und die anderen Reinigungsprotokolle. Die Reinigung mit Pulverstrahlgeräten (Gruppen III, IV und VII) resultierte in einer besseren internen Adaptation und war der Reinigung mit Bimsstein (Gruppe II) signifikant überlegen. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede unter den verschiedenen Reinigungs-Pulvern. Das "Cavity Sealing" (Gruppe VI) zeigt über den gesamten inneren Füllungsrand mit $76.7 \pm 11 \%$ den grössten prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand.

Die CLSM-Untersuchung ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Penetration des Dentinadhäsives durch eine provisorische Versorgung.

Schlussfolgerungen

Eine provisorische Versorgung beeinflusst die interne Adaptation negativ. Als praktische Konsequenz muss die Kavitätenreinigung mit Bimsstein nach provisorischer Versorgung als obsolet betrachtet werden. Die immediate Dentinversiegelung ("Cavity Sealing") direkt nach der Präparation ist anderen Reinigungsprotokollen nach einer provisorischen Versorgung durch eine bessere interne Adaptation überlegen.

Einleitung

Grosse Zahnhartsubstanzdefekte werden häufig mit zahnfarbenen, adhäsiv befestigten Werkstücken wie Veneers, Inlays, Overlays, Teilkronen und Kronen restauriert. Meist werden diese Restaurationen im indirekten Verfahren, von einem Zahntechniker gefertigt. Dabei wird in einer ersten Sitzung nach der Präparation eine Abformung gemacht und eine provisorische Restauration eingesetzt. Einige Tage oder Wochen später, wird das vom Zahntechniker gefertigte Werkstück adhäsiv zementiert.

Während der provisorischen Versorgung kommt die Zahnhartsubstanz in Kontakt mit anderen Materialien, insbesondere temporären Zementen. Ein negativer Einfluss, einer durch die provisorische Versorgung verursachten Oberflächenkontamination, auf die später zu etablierende Schmelzhaftung und Dentinadhäsion ist nachgewiesen. Unterschiedliche Vorschläge zur Reinigung der Präparation und Entfernung von Resten temporärer Materialien wurden bereits beschrieben. Es wurden jedoch auf makroskopisch sauberen Dentinoberflächen noch mikroskopische Überreste temporärer Zemente gefunden. Um Interferenzen entlang der Klebefläche zwischen Befestigungsmaterial und Dentin zu vermeiden, ist ein effektives Protokoll zur Kavitätenreinigung nach provisorischer Versorgung anzustreben und von klinischer Relevanz.

Über eine Versuchsanordnung zur Beurteilung der internen Adaptation soll in dieser Studie untersucht werden, wie Schmelz und Dentin bei einer provisorischen Versorgung optimal für eine adhäsive Befestigung vorbereitet werden sollen.

Das Ziel der vorliegenden Studie war, den Einfluss der unterschiedlichen Kavitätenreinigung nach provisorischer Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Werkstücke zu untersuchen.

Literaturübersicht

Grund einer provisorischen Versorgung

Restaurationen von grossen Zahnhartsubstanndefekten verlangen häufig die Anfertigung von Werkstücken wie Veneers, Inlays, Overlays, Teilkronen und Kronen. Ein indirektes Vorgehen über eine Abformung wird dann häufig angewandt (PURI 2008). Heute steht eine Vielzahl von CAD/CAM-Systemen (Computer-aided design/computer-aided manufacture) sowohl für das zahntechnische Labor als auch für den Zahnarzt zur Verfügung. Es können zweizeitig (mit konventioneller oder digitaler Abformung) oder auch einzeitig "chairside" Restaurationen gefertigt werden (PURI 2008). Die CAD/CAM-Verfahren mit der Möglichkeit "chairside" zu arbeiten, gewinnen in der Restaurativen Zahnmedizin immer mehr an Bedeutung (MÖRMANN & BINDL 2002, ALLEN ET AL. 2004). Dennoch werden viele Restaurationen im indirekten Verfahren und zweizeitig, also mit einer temporären provisorischen Versorgung, gefertigt. Dabei wird in der ersten Sitzung nach der Präparation üblicherweise eine Abformung gemacht und eine provisorische Restauration zementiert. Einige Tage oder Wochen später, nach der Einprobe und Fertigstellung des definitiven Werkstückes, wird dieses adhäsiv zementiert (SWIFT 2009). Die provisorischen Versorgungen werden meist mit einem temporären Zement befestigt. Sie sollen den Zahn primär vor physikalischen, thermischen und biologischen Reizen schützen, wie auch die Kaufunktion und Phonetik gewährleisten und die Position des Zahnes sichern. Daneben können sie der Diagnostik und dem Testen von geplanten Änderungen in Okklusion, Ästhetik und Phonetik dienen. Beim Vorgehen für eine indirekte, zweizeitige Restauration wird die präparierte Schmelz- und Dentinoberfläche, im Unterschied zu einem einzeitigen Verfahren, nicht unmittelbar nach der Bearbeitung der Zahnhartsubstanz konditioniert und verklebt. Auf diese Weise kommt die Zahnhartsubstanz in Kontakt mit anderen Materialien, insbesondere mit temporären Zementen.

Die adhäsive Befestigung

Es wird für Vollkeramik-Werkstücke die adhäsive Befestigung, aufgrund von In-vitro-Studien (MÖRMANN ET AL. 1998, ATTIA ET AL. 2006, BLATZ ET AL. 2008) und sehr guten klinischen Langzeitergebnissen (MÖRMANN & KREJCI 1992, MARTIN & JEDYNAKIEWICZ 1999, BINDL & MÖRMANN 2003, POSSELT & KERSCHBAUM 2003, REISS 2006, OTTO & SCHNEIDER 2008) empfohlen. Bei der adhäsiven Eingliederung indirekter Restaurationen ist den Mehrschritt-Adhäsivsystemen der Vorzug zu geben, auch wenn Techniksensitivität und Zeitaufwand gegenüber selbststützenden Adhäsivsystemen erhöht sind (FRANKENBERGER 2009).

Damit ist die Frage nach dem Einfluss einer durch die provisorische Versorgung verursachten Oberflächenkontamination auf die später zu etablierende Schmelzhaftung und Dentinadhäsion von klinischer Relevanz.

Einfluss der provisorischen Versorgung auf die Haftung

Ein möglicher negativer Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die Leistung des definitiven Befestigungskomposits ist beschrieben (MILLSTEIN & NATHANSON 1983) und belegt worden (WATANABE ET AL. 1997, MAGNE ET AL. 2005, FRANKENBERGER ET AL. 2007a).

Einfluss auf die Schmelzhaftung

Die Kontamination scheint weniger auf die Schmelz- als die Dentinhaftung Auswirkungen zu haben. Denn die mechanische Reinigung, gefolgt von der Säureätzung mittels 37 % Phosphorsäure, wird als effektiv zur Entfernung von Zementresten auf dem Schmelz beschrieben (WOODY & DAVIS 1992, TERATA 1993, JUNG ET AL. 1998).

Einfluss auf die Dentinhaftung

Es konnte aber gezeigt werden, dass temporäre Zemente einen Einfluss auf die Effizienz von Dentin-Bonding Systemen haben. So sind nach unterschiedlicher mechanischer Reinigung auf makroskopisch sauberen Dentinoberflächen mikromorphologisch unter dem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) Überreste temporärer Zemente in vielen Studien nachgewiesen worden (TERATA 1993, WATANABE ET AL. 1997, SARAÇ ET AL. 2005, CHAIYABUTR & KOIS 2008).

Einfluss eugenol-haltiger Zemente

Widersprüchliche Untersuchungsergebnisse finden sich bei Studien, welche den Einfluss eugenol-haltiger Zemente auf die Klebefestigkeit auf Dentin untersuchten. Eugenol wurde als Polymerisationshemmer von Komposit beschrieben (MILLSTEIN & NATHANSON 1983) (ROSENSTIEL & GEGAUFF 1988). Eine Haftungsreduktion durch Interferenz eugenol-haltiger temporärer Zemente mit den auf Methylmethacrylat basierenden Dentinadhäsiven und Kompositen ist in einigen Studien beschrieben (HANSEN & ASMUSSEN 1987, DEWALD ET AL. 1988, PAUL & SCHÄRER 1997b, YAP ET AL. 2001) und in anderen widerlegt worden (SCHWARTZ ET AL. 1992, WOODY & DAVIS 1992, XIE ET AL. 1993, GANSS & JUNG 1998, JUNG ET AL. 1998, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 1999, PETERS ET AL. 2000, ABO-HAMAR ET AL. 2005, FONSECA ET AL. 2005, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 2006).

Obwohl eugenol-haltige Zemente aufgrund ihrer bakteriostatischen Wirkung, ihres sedativen Effektes auf die Pulpa und ihrer beachtlichen Haftung in der Praxis gerne verwendet werden, wird aufgrund der kontroversen Datenlage in In-vitro-Studien bei prospektiver adhäsiver Befestigung empfohlen, auf eugenol-haltige temporäre Zemente zu verzichten und eugenol-freie Präparate zu benützen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass der negative Effekt vielleicht nicht durch das Eugenol, sondern die Anwesenheit von Überresten temporärer Zemente verursacht wird (WOODY & DAVIS 1992, TERATA ET AL. 1994, PAUL & SCHÄRER 1997b, FONSECA ET AL. 2005).

Bekannte Reinigungsprotokolle

Unterschiedliche Vorschläge zur Reinigung der Präparation und Entfernung von Resten temporärer Materialien wurden beschrieben. Neben einer mechanischen Reinigung mit Wattestäbchen (MILLSTEIN & NATHANSON 1983), Bohrern (HANSEN & ASMUSSEN 1987, PETERS ET AL. 2000), Scalern (GANSS & JUNG 1998), Excavatoren (WATANABE ET AL. 1997, CHAIYABUTR & KOIS 2008), Seifen (BACHMANN ET AL. 1997) und Bimsstein oder Prophylaxepasten (DUKE ET AL. 1985, GERBO ET AL. 1992, SCHWARTZ ET AL. 1992, PAUL & SCHÄRER 1997b, GRASSO ET AL. 2002, CHAIYABUTR & KOIS 2008) sind auch Reinigungsmethoden mittels Detergentia beschrieben und untersucht worden (DUKE ET AL. 1985, GANSS & JUNG 1998, WATANABE ET AL. 1998, WATANABE ET AL. 1999, SARAÇ ET AL. 2005, SARAÇ ET AL. 2008).

Reinigung mit Bimsstein

Die klinisch am meisten verwendete Methode ist die Reinigung mittels Bimsstein und Nylonbürstchen, welche in einem In-vivo-Versuch effektiver als die Reinigung mit Handinstrumenten oder Wattepellet war und lichtmikroskopisch am wenigsten Zementüberreste aufwies (GRASSO ET AL. 2002).

Reinigung durch das Nachfinieren

Ein Nachfinieren der Kavität mit einem Diamant-Finierer führte nach provisorischer Versorgung zur Verbesserung der marginalen Adaptation und ist als effektiv zur Reinigung der Kavität belegt worden (PETERS ET AL. 2000).

Reinigung mit Pulverstrahlgeräten

Eine weitere Methode zur Reinigung der Kavität nach provisorischer Versorgung besteht in der Verwendung von Pulverstrahlgeräten. Die Abrasion mit Mikropartikeln war ursprünglich als eine Methode zur nichtmechanischen Kavitätenpräparation beschrieben worden (BLACK 1945). Seit 1951 haben sich Pulverstrahlgeräte als zusätzliches Hilfsmittel zur Präparation und Zahnreinigung in der Zahnarztpraxis zu etablieren begonnen (BLACK 1955). Die Pulverstrahlgeräte sind eine effektive und zeitsparende Alternative zur Entfernung von Verfärbungen und Plaque (WEAKS ET AL. 1984). Heute werden Pulverstrahlgeräte neben der Zahnreinigung oft für die Vorbehandlung des Schmelzes vor einer Fissurenversiegelung und vor der Befestigung kieferorthopädischer "brackets" benutzt (GERBO ET AL. 1993).

Für diese Indikationen werden Pulver eingesetzt die auf Salz (Natriumbicarbonat NaHCO_3), Kreide (Calciumcarbonat CaCO_3), Mineral (Aluminiumoxid Al_2O_3) oder seit neuerem einer Aminosäure (Glycin $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$) basieren.

Pulverstrahlgeräte werden üblicherweise zur Steigerung der Adhäsion von Komposit an Metalloberflächen verwendet (TANAKA ET AL. 1986, SWIFT 1989). Deshalb ist auch untersucht worden, ob Pulverstrahlgeräte die Schmelzhaftung an Komposit verbessern können.

Einfluss des Pulverstrahlens auf die Schmelzhaftung

Die Schmelzätzung wird als einfache Methode zur Verbesserung der Adhäsion am Schmelz verwendet (BUONOCORE 1955). Es konnte gezeigt werden, dass das Pulverstrahlen des Schmelzes keine akzeptable Alternative für die Säureätzung vor dem Bonding ist (OLSEN ET AL. 1997, VAN WAVEREN HOGERVORST ET AL. 2000) und die Säureätztechnik auf dem Schmelz bessere Haftwerte erzielt, als nach alleiniger Vorbehandlung des Schmelzes mit einem Pulverstrahlgerät (BROWN & BARKMEIER 1996, GRAY ET AL. 2006). Die mit Pulverstrahlgeräten abraderte Schmelzoberfläche war zwar irregulär, aber nicht dem Wabenmuster nach der Ätzung mit Phosphorsäure ähnlich und als mechanische Ätztechnik ineffektiv. Es wurde vorgeschlagen, nach dem Pulverstrahlen des Schmelzes eine starke Säure zur Ätzung zu verwenden, da die Modifikation des Schmelzes nach Pulverstrahlen nicht die Säureätzung ersetzen kann (NIKAIDO ET AL. 1996).

Es wurde auch der Einfluss von unterschiedlichen Partikelgrößen untersucht. In einigen Studien wurde keine signifikante Verbesserung der Haftwerte am Schmelz bei Pulverstrahlen mit Partikeln mit einem Durchmesser von 25 μm (HALPERN & ROULEAU 2009) und 27 μm mit zusätzlicher Phosphorsäure-Ätzung gefunden (ROEDER ET AL. 1995, BORSATTO ET AL. 2002). Andere Studien wiederum beschreiben auf Schmelz und Dentin nach Vorbehandlung mit einem Pulverstrahlgerät und Partikeln mit 25 μm sowie Säureätzung höhere Haftwerte als ohne Pulverstrahl-Abrasion (MUJDECI & GOKAY 2004).

In früheren Studien war die zusätzliche Verwendung von 50 μm Partikeln nicht signifikant besser als die alleinige Säureätzung (ROEDER ET AL. 1995, BROWN & BARKMEIER 1996).

Im Hinblick auf die Verwendung der Luft-Abrasion zur Entfernung von Zementresten auf der Zahnhartsubstanz ist interessant ob dadurch ein negativer Effekt auf die Haftung resultiert. Es wurde kein negativer Effekt auf die Schmelzhaftung nach Luft-Abrasion mit Natriumbicarbonat (45 μm) oder Aluminiumoxid (50 μm) gefolgt von Säureätzung mit Phosphorsäure gefunden (BROWN & BARKMEIER 1996). In neueren Studien wurden sogar verbesserte Haftwerte am

Schmelz bei Verwendung von 50 µm Partikeln und nachfolgender Säureätzung beschrieben (CANAY ET AL. 2000, HALPERN & ROULEAU 2009).

Auch die Verwendung von 100 µm Partikeln ist seit kurzem beschrieben und zeigt eine signifikante Verbesserung in der Haftung nach zusätzlicher Säureätzung auf Schmelz gegenüber der Verwendung von 50 µm Partikeln (HALPERN & ROULEAU 2009).

Einfluss des Pulverstrahlens auf die Dentinhaftung

Auch der Einfluss von unterschiedlichen Pulvern auf die Dentinadhäsion ist untersucht worden. Durch die Abrasion mit den Partikeln der Pulverstrahlgeräte wird eine raue, irreguläre und vergrößerte Dentinoberfläche geschaffen (LOS & BARKMEIER 1994). Es wurde keine erniedrigte Adhäsion am Dentin durch das Pulverstrahlen mit 50 µm-Al₂O₃-Partikeln gefunden (LOS & BARKMEIER 1994, NIKAIDO ET AL. 1996). Jedoch wird von der Verwendung von Ein-Schritt-Self-Etching-Adhäsivsystemen in Kombination mit Pulverstrahlen abgeraten, da es die Dentinhaftung negativ beeinflusst (NIKAIDO ET AL. 1995).

Nach provisorischer Versorgung wurde eine signifikante Verbesserung der Haftwerte auf Dentin nach Reinigung mit einem Pulverstrahlgerät mit Aluminiumoxid-Pulver gegenüber der Reinigung mit einem Excavator oder Bimsstein gefunden (FONSECA ET AL. 2005, CHAIYABUTR & KOIS 2008).

Jedoch wurde nach Pulverstrahlen von Dentin mit Calciumcarbonat eine signifikante Reduktion der Dentinhaftung und unter dem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) ein dickerer "smear layer" gefunden (FRANKENBERGER ET AL. 2007b). Der mikromorphologischen Nachweis mittels REM und konfokalem Laser-Raster-Mikroskop (CLSM) zeigt klar auf, dass das Pulverstrahlen mit Calciumcarbonat nicht zur Entfernung des "Smear Layer" fähig ist (FRANKENBERGER ET AL. 2007b).

Pulverstrahlen mit Natriumbicarbonat ist effektiv zur Entfernung von Verfärbungen und Plaque, ist aber hochabrasiv auf Wurzelzement und Dentin (PETERSILKA ET AL. 2003). Die Verwendung des Pulverstrahl-Pulvers Glycin wurde als gering abrasiv auf Wurzelzement und Dentin, aber effektiv zur Plaqueentfernung beschrieben (PETERSILKA ET AL. 2003). Bei der Verwendung von Glycin zur Dentinabrasion mit einem Pulverstrahlgerät wurde kein nachteiliger Effekt auf die Dentinhaftung gefunden und es wurde mit dem REM und dem CLSM eine von "Smear Layer" befreite Dentinfläche mit offenen Dentintubuli nachgewiesen (FRANKENBERGER ET AL. 2007b).

Die Technik des "Dual Bonding", "Immediate Dentin Sealing", "Resin Coating" oder "Cavity Sealing"

Ein anderer Ansatz, wegkommend von den Versuchen die bestmögliche Reinigungsmethode zu eruieren, ist die Kontamination der Zahnhartsubstanz zu vermeiden. Je nach Präparation werden bei einer Kronenpräparation eines Molaren bis zu 1-2 Millionen Dentintubuli eröffnet (RICHARDSON ET AL. 1991). Die Idee, dieses freiliegende Dentin bei Präparationen vor der provisorischen Versorgung zu versiegeln um es vor einem bakteriellen "Microleakage" während der provisorischen Phase zu schützen, ist schon länger bekannt und als einfache Methode zum Schutz der Pulpa vor den Konsequenzen eines "Microleakage" beschrieben worden (PASHLEY et al. 1992, GÖHRING et al. 2004).

Es wurde auch festgestellt, dass eine Dentinkontamination während der provisorischen Versorgung das Potential der Dentinhaftung reduzieren kann (PAUL & SCHÄRER 1997b) und Lösungsversuche mit der Technik des "Dual Bonding" von präparierten Kronenstümpfen vorgestellt (BERTSCHINGER ET AL. 1996, PAUL & SCHÄRER 1997a).

Das frisch präparierte Dentin vor der Kontamination mit temporären Zementen ist das ideale Substrat für das Dentinbonding (PAUL & SCHÄRER 1997b). Es sind zwei Methoden, welche das präparierte Dentin direkt nach der Präparation adhäsiv versiegeln, beschrieben worden. So wird beim "Immediate Dentin Sealing" (IDS), analog der Technik des "Dual Bonding", das Dentin mit einem Adhäsivsystem mit gefülltem Bonding (MAGNE & DOUGLAS 1999, MAGNE 2005, MAGNE ET AL. 2005) oder beim "Resin Coating" RC in Verbindung mit einer zusätzlichen, dünnen Schicht eines fließfähigen Komposits versiegelt (JAYASOORIYA ET AL. 2003a, JAYASOORIYA ET AL. 2003b, OKUDA ET AL. 2007). Da die Filmdicke von gehärtetem Bonding zwischen 60-350 µm liegt und im Bereich von konkaven Präparationsstellen, wie dem Kronenrand, zwischen 200-300 µm lag (PASHLEY ET AL. 1992) wurde dies als Problem für die Passgenauigkeit von indirekten, zweizeitigen Restaurationen gesehen, welche im Bereich von 50-100 µm liegen sollte (PASHLEY ET AL. 1992, PAUL & SCHÄRER 1997b). Dieses Problem kann jedoch umgangen werden, wenn eine Versiegelung vor der Abformung durchgeführt wird, womit die Passgenauigkeit der Abformung und des Werkstückes nicht beeinflusst wird. Einzig bei gingivalen Präparationsrändern im Dentin und bei Keramik Veneers kann eine zusätzliche Adhäsiveschicht die Dicke der späteren Restauration negativ beeinflussen. Deshalb wird bei Restaurationsrändern im Dentin eine ausgeprägte Hohlkehle (0.7-0.8 mm) empfohlen um eine adäquate marginale Passgenauigkeit und genug Platz für das Adhäsiv und die darüberliegende Restauration zu erhalten (MAGNE 2005). Da kein Ätzmuster auf dem Schmelz produziert wird, kann keine mikromechanische Haftung zwischen Bond und Schmelz entstehen, was eine einfache Entfernung des Bondings vom Schmelz möglich macht (PAUL & SCHÄRER 1997a). Um überschüssiges Adhäsiv auf dem Schmelz zu entfernen und einen idealen Präparationsrand

sicherzustellen, wird das Nachfinieren der Schmelzränder vor der Abformung empfohlen (MAGNE 2005). Erst nach dem Nachfinieren der Schmelzränder erfolgt eine Abformung und provisorische Versorgung.

Bei beiden Methoden der direkten adhäsiven Versiegelung der Dentinwunde wurde eine Verringerung von Randspalten, (DIETSCHI & HERZFELD 1998, MAGNE & DOUGLAS 1999, JAYASOORIYA ET AL. 2003a, KOSAKA ET AL. 2005, SCHENKE ET AL. 2008) und eine Erhöhung der Haftfestigkeit (JAYASOORIYA ET AL. 2003b, OZTURK & AYKENT 2003, MAGNE ET AL. 2005, ISLAM ET AL. 2006, MAGNE ET AL. 2007) festgestellt. Weiter wurde klinisch der Komfort für den Patienten durch eine Reduktion der postoperativen Hypersensibilität und weniger Notwendigkeit für eine Anästhesie während der Befestigung des Werkstückes verbessert (CAGIDIACO ET AL. 1996, LATTA ET AL. 2005).

Das Aufbringen eines Dentinadhäsives vor einer Abformung und vor der provisorischen Versorgung verhindert, dass temporäre Zemente mit dem späteren Bonding interagieren (LATTA ET AL. 2005). Auch der vermutete negative Effekt auf die Haftung bei Verwendung eines eugenol-haltigen Zementes bei prospektiver adhäsiver Befestigung konnte nach einer Dentinversiegelung direkt nach der Präparation nicht festgestellt werden (BERTSCHINGER ET AL. 1996).

Es zeigte sich, dass die "Immediate Dentin Sealing" Technik eine ähnliche Klebefestigkeit aufweist wie eine direkte Versorgung mit Komposit. Das Versiegeln des Dentins erst vor dem definitiven Einsetzen der Restauration, "delayed dentin sealing", welches die von den meisten Klinikern verwendete Methode darstellt, resultiert in einer signifikant erniedrigteren Klebefestigkeit (MAGNE ET AL. 2005). Dadurch, dass das Adhäsiv-System vor der Abformung angewendet und gehärtet wird, können eventuelle Passungenauigkeiten durch ein allfälliges "Pooling" des Adhäsives vermieden werden (MAGNE ET AL. 2005).

Es wurden Bedenken betreffend der Kompatibilität von Abformmaterialien mit der versiegelten Dentinfläche vermutet (BERTSCHINGER ET AL. 1996). In einer dieser Frage nachgehenden Untersuchung wurde durch eine Versiegelung des Dentins direkt nach der Präparation kein negativer Einfluss auf die Qualität der Abformung gefunden, wenn ein Polyether-Abformmaterial oder ein additionsvernetzendes Silikon-Abformmaterialien gebraucht wurden (ZELLWEGER 1997). In einer kürzlich publizierten Studie wurde ebenfalls die Interaktion der Dentinversiegelung mit Abformmaterialien untersucht und beschrieben, wobei von der Verwendung eines Abformmaterials auf Polyetherbasis abgeraten wurde (MAGNE & NIELSEN 2009). Eine sauerstoffinhibierte Schicht sollte vermieden werden um eine potentielle Interaktion mit einem Abformmaterial oder mit dem Provisorium zu verhindern (STAVRIDAKIS ET AL. 2005, MAGNE & NIELSEN 2009) und eine Reinigung mit Bimsstein vor der Abdrucknahme wird in Kombination mit dem IDS empfohlen (MAGNE & NIELSEN 2009).

Es stellte sich die Frage, ob eine Versiegelung auch nach der Entfernung des Provisoriums und nach der Reinigung der Kavität noch ausreichend ist. Die Filmdicke einer vorgehärteten Adhäsivschicht liegt zwischen 60-350 µm (PASHLEY ET AL. 1992) und ist weiter abhängig vom verwendeten Produkt und der Lokalisation am Zahn (STAVRIDAKIS ET AL. 2005). Es konnte gezeigt werden, dass die Filmdicke bei der späteren Reinigung zwar reduziert, aber nicht ganz entfernt wird (STAVRIDAKIS ET AL. 2005). Nach einer provisorischen Versorgung wird die Reinigung mit Pulverstrahl-Abrasion, Bimsstein oder dem niedrigtourigen Anrauchen mit einem grobkörnigen, rotierenden Diamant empfohlen, um das Bonding an die Dentinversiegelung zu fördern (BERTSCHINGER ET AL. 1996, MAGNE & DOUGLAS 1999, MAGNE 2005).

Die Dentinhaftung wurde mit dem IDS auch durch eine zwölfwöchige Dauer der provisorischen Phase vor dem Befestigen der definitiven Restauration nicht beeinflusst (MAGNE ET AL. 2007). Dies wird auf die Erkenntnis zurückgeführt, dass eine sauerstoffinhibierte Schicht nicht notwendig für das Bonding von Kompositsschichten ist und noch vorhandene freie Radikale und Photoinitiatoren für das Bonding verantwortlich sind (KUPIEC & BARKMEIER 1996, SUH 2004, PAPACCHINI ET AL. 2007).

Untersuchungsmethoden in In-vitro-Studien

Um in In-vitro-Versuchen möglichst klinische Verhältnisse zu simulieren und von den Resultaten auf die klinische Relevanz zu schliessen, sind verschiedene Untersuchungsmethoden beschrieben worden. So wurde versucht in vitro die physiologischen und klinischen Konditionen eines präparierten Zahnes zu simulieren (TERKLA ET AL. 1987). Testapparaturen, welche die relevanten auf Restaurationen in der Mundhöhle auftretenden Einflüsse simulieren und kombinieren, wurden entwickelt (DELONG ET AL. 1985, SAKAGUCHI ET AL. 1986, KREJCI ET AL. 1990).

Einfluss des Dentinliquors und des intrapulpalen Druckes

Bei der Kavitätenpräparation werden flüssigkeitsgefüllte Dentintubuli angeschnitten. Diesem klinischen Phänomen wird durch die Herstellung eines statischen physiologischen Systems, welches den Dentinliquor mit seinem physiologischen Druck unter vereinfachten Laborbedingungen simuliert Rechnung getragen (PASHLEY ET AL. 1981, MITCHEM ET AL. 1988). Der Dentinliquorfluss aus offenen Dentintubuli kann mit einem Experimentenaufbau, welcher den intrapulpalen Druck integriert, imitiert werden (DERKSON ET AL. 1986, TERKLA ET AL. 1987). Die Dentinhaftung wird durch die Simulation des Dentinliquors beeinflusst (MITCHEM ET AL. 1988, TAO & PASHLEY 1989, PRATI ET AL. 1991, KREJCI ET AL. 1993a, HIRAISHI ET AL. 2009). Auch das Penetrationsverhalten von Haftvermittlern in das Dentin wird durch einen intrapulpalen Druck beeinflusst und führt zu einer deutlich geringeren Penetration (PIOCH ET AL. 2001). Es wurden beachtliche Unterschiede in der Klebefestigkeit von Dentinadhäsiven festgestellt, wenn diese, statt auf einer trockenen Dentinfläche, auf einer Dentinfläche, welche einem konstanten intrapulpalen Druck ausgesetzt war, verwendet wurden (ELHABASHY ET AL. 1993, PAUL & SCHÄRER 1993, PEREIRA ET AL. 1999, MOLL & HALLER 2000, PIOCH ET AL. 2001). Wenn das Dentin dünner wird, steigt der Dentinliquorfluss durch das Dentin, womit tiefere Dentinbereiche feuchter sind als oberflächliche (PRATI ET AL. 1991, RICHARDSON ET AL. 1991, PASHLEY ET AL. 2002). Die Permeabilität des Dentins ist auch nicht uniform über den Zahn, da die Anzahl Dentintubuli/mm² nicht uniform ist (PASHLEY ET AL. 2002).

Für Laborsimulationen wird deshalb gefordert, den Effekt in Abhängigkeit der unterschiedlichen Dentintiefen (oberflächlich versus tief) und Position am Zahn (okklusal versus proximal) zu untersuchen (PASHLEY 1991, PEREIRA ET AL. 1999). Weiter sollen Zahnflächen idealerweise nicht durch Abrasion mit Schleifpapier, sondern mit Bohrern präpariert werden und es sollte nicht an flachen Oberflächen sondern an Kavitäten getestet werden (PASHLEY 1991).

Das Unterlassen einer Simulation der Physiologie des Zahnes in In-vitro-Versuchen kann somit zu falschen Schlussfolgerungen für die Klinik führen (MITCHEM ET AL. 1988). Die Imitation des intrapulpalen Druckes wird deshalb als wichtiger Faktor für Tests welche in vitro am Dentin gemacht werden gesehen (PASHLEY 1991, SWIFT ET AL. 1995).

Einfluss einer thermomechanischen Belastung

Der funktionelle Stress, welcher durch die Mastikation auf Restaurationen wirkt, wurde als wichtigster Faktor des oralen Milieus, welcher einen Einfluss auf die Qualität von Restaurationen hat identifiziert (QVIST 1983). Es wurde untersucht, dass es wichtig ist, die natürliche Abnutzung zu simulieren, wenn eine Voraussage über das Langzeitüberleben von Restaurationen gemacht werden soll (SAKAGUCHI ET AL. 1986).

Für Versuche welche in vitro durchgeführt werden, ist deshalb ein komplexes Testverfahren notwendig (QVIST 1983). Die kombinierte thermische und mechanische Belastung hat sich in Studien, welche die Dentinhaftung untersuchen als entscheidend herausgestellt (AIROLDI ET AL. 1992, KREJCI ET AL. 1993b). So wird die thermomechanische Belastung in In-vitro-Studien häufig verwendet und hat sich als nützlich herausgestellt um In-vivo-Resultate klinischer Studien zu extrapolieren (KREJCI & LUTZ 1990, KREJCI ET AL. 1994, PETERS ET AL. 2000, FRANKENBERGER & TAY 2005).

Untersuchungsmethoden bekannter Studien

Häufige Untersuchungsmethoden zur Beurteilung von Restaurationen nach provisorischer Versorgung in In-vitro-Versuchen sind die Messung der Haftwerte in Scher- oder Zugversuchen (SCHWARTZ ET AL. 1992, TERATA ET AL. 1994, BERTSCHINGER ET AL. 1996, BACHMANN ET AL. 1997, WATANABE ET AL. 1997, GANSS & JUNG 1998, JUNG ET AL. 1998, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 1999, WATANABE ET AL. 1999, YAP ET AL. 2001, ABO-HAMAR ET AL. 2005, FONSECA ET AL. 2005, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 2006, FRANKENBERGER ET AL. 2007a, MAGNE ET AL. 2007, CHAIYABUTR & KOIS 2008), weiter die Analyse der mikromorphologischen Randdichtigkeit anhand der marginalen Adaptation (HANSEN & ASMUSSEN 1987, DIETSCHI & HERZFELD 1998, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 1999, PETERS ET AL. 2000, DIETSCHI ET AL. 2002b, FRANKENBERGER & TAY 2005, FRANKENBERGER ET AL. 2008) sowie anhand der internen Adaptation (DIETSCHI & HERZFELD 1998, DIETSCHI ET AL. 2002b, JAYASOORIYA ET AL. 2003a), aber auch die Analyse der Dichtigkeit ("Microleakage") (WOODY & DAVIS 1992, CAGIDIACO ET AL. 1996, YAP ET AL. 2002, KOSAKA ET AL. 2005, SCHENKE ET AL. 2008).

Die Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM)

Die mikromorphologische Untersuchung der Randdichtigkeit mittels der Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM) hat als zerstörungsfreie Analysemethode gegenüber der direkten Messung mittels Farbstoff-Penetration den Vorteil, dass Messungen vor und nach einer Belastung möglich sind. Ausserdem kann bei der traditionellen Analyse der Randdichtigkeit immer nur die Ebene des gewählten Schnittes beurteilt werden, während im REM der gesamte Randverlauf beurteilt werden kann.

Die Beurteilung der marginalen Adaptation ist schon länger als Untersuchungsgrösse bekannt (LUESCHER ET AL. 1977, ROULET 1987). Das REM hat sich als Mittel zur Beurteilung der marginalen Adaptation von Restaurationen bewährt (FRANKENBERGER & TAY 2005). Es wurde bereits in vielen Studien eine Analyse der marginalen Adaptation mittels des REM durchgeführt (DIETSCHI & HERZFELD 1998, PETERS ET AL. 2000, DIETSCHI ET AL. 2002a, DIETSCHI ET AL. 2002b, DIETSCHI ET AL. 2003). Beobachtungen der internen Adaptation von Restaurationen wurden häufig als Ergänzung zu Informationen, welche aus der Standardbeurteilung der marginalen Adaptation hervorgehen, durchgeführt (DIETSCHI & HERZFELD 1998, DIETSCHI ET AL. 2002a, DIETSCHI ET AL. 2002b, DIETSCHI ET AL. 2003). Die Beurteilung der marginalen Adaptation liefert nützliche Information betreffend der marginalen Integrität, identifiziert oder lokalisiert jedoch nicht den Ursprung irgendeines Misserfolges (DIETSCHI & HERZFELD 1998). Es konnte gezeigt werden, dass REM Beobachtungen von Replika der internen Adaptation nützliche Informationen betreffend der Mikromorphologie am inneren Rand liefern und allenfalls Rückschlüsse auf die Art von dort entstandenen Schäden erlauben (TAY ET AL. 1995). Die Haftwerte am Zahn müssen genügend stark sein um den Kontraktionskräften während der

Polymerisationsschrumpfung von Komposit (bis zu 17 MPa) zu widerstehen (FEILZER ET AL. 1989). Die Beurteilung der internen Adaptation mittels dem REM ist eine Möglichkeit zu eruieren, ob Schmelz- und Dentinhaftwerte sowohl den Kontraktionskräften während der Polymerisation, als auch einer thermomechanischen Kaubelastung über die Zeit standhalten.

Die konfokale Laser-Raster-Mikroskopie (Confocal Laser Scanning Microscopy = CLSM)

Ein lichtmikroskopischer Strahlengang hat eine endliche Tiefenschärfe. Bei dicken durchstrahlbaren Objekten im konventionellen Lichtmikroskop wird die Bildinformation aus einer Ebene überlagert von Informationen aus Ebenen unterhalb oder oberhalb der Fokusebene. Bei der konfokalen Lichtmikroskopie wird nur die Information im Fokus, einem optisch, konfokalen Schnitt eines dreidimensionalen Objektes dargestellt.

Die konfokale Laser-Raster-Mikroskopie (CLSM) erlaubt eine verbesserte Unterdrückung der Hintergrundinformation ausserhalb der Fokus-Ebene und eine bessere Auflösung als die konventionelle Mikroskopie (WHITE ET AL. 1987). Damit ist es möglich, dickere Präparate optisch zu schneiden und dies mit nur geringer Einbusse in der Bildqualität von tieferen Schichten; was zu massiv besseren Bildern biologischer Strukturen führt (WATSON & BOYDE 1987, WHITE ET AL. 1987, ZHANG & LI 2007).

In der zahnmedizinischen Forschung hat sich die Einführung der konfokalen Mikroskopie (CLSM), in Kombination mit einem Fluoreszenz-Farbstoff, als nützliche neue Technik zur Visualisierung der Interdiffusions-Zone der Dentin-Komposit-Verbindung und des "Hybrid Layers" herausgestellt (WATSON 1989, PIOCH ET AL. 1997, WATSON 1997). Ebenfalls wurde die CLSM zur Beurteilung des "Microleakage" nach Immersion in einen Fluoreszenz-Farbstoff verwendet (KITAYAMA ET AL. 2009). Nach Markierung von "Primern" mit Fluoreszenz-Farbstoffen wurde die CLSM auch zur Messung der Dicke des "Hybrid Layer" (SCHÜPBACH ET AL. 1997, PIOCH ET AL. 1998, D'ALPINO ET AL. 2006) und zur Beurteilung des Penetrationsverhaltens von "primer" und "adhesive" benützt (WATSON & WILMOT 1992, GRIFFITHS & WATSON 1995, GRIFFITHS ET AL. 1999, STAHEL 2001, MOHAN & KANDASWAMY 2005, FRANKENBERGER ET AL. 2007b).

Die Vorteile der CLSM gegenüber der REM ist die Möglichkeit, mit dem konfokalen Prinzip Schichten bis zu 100 µm unter der Oberfläche zu visualisieren, das Trocknen der Proben, welches vermehrt zu Artefakten führt, ist nicht nötig und mittels selektivem Zusatz von Fluoreszenz-Farbstoffen in die Komponenten der Haftvermittler kann deren individuelles Verhalten studiert werden (D'SOUZA ET AL. 1999). Durch den Gewinn neuer Information bezüglich der "bonding" Morphologie und der Kunststoff-Dentin-Verbundmorphologie mit der CLSM, sollte die Technik ergänzend zu anderen konventionellen Techniken verwendet werden (D'SOUZA ET AL. 1999).

Ziel der Studie

Das Ziel der vorliegenden Studie war, den Einfluss der unterschiedlichen Kavitätenreinigung nach provisorischer Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays zu untersuchen.

Die interne Adaptation wurde quantitativ rasterelektronenmikroskopisch, die Penetration des Adhäsivsystems in das Dentin semiquantitativ, mittels der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie untersucht.

Nullhypothese

Die zweiteilige Nullhypothese war, dass (1) eine provisorische Versorgung, und (2) die unterschiedliche Kavitätenreinigung keinen Einfluss auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays haben.

Material und Methoden

Studienmaterial

- 56 extrahierte, kariesfreie Oberkiefermolaren

- Temp-Bond NE™, LOT 06-1010	Kerr, Orange, CA, USA
- Fermit, LOT J02216, LOT H31171	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Vitablocs Mark II (I12), LOT 23670	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, D
- VITA CERAMICS ETCH, LOT 7480	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, D
- Monobond-S, LOT H30148	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Tetric 110/A1, LOT H35701	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Ultra-Etch, LOT B1XY9	Ultradent Products, Inc, South Jordan, USA

Kavitätenreinigungsprodukte

- Bimsstein, Art-No 900.042	Unor, Schlieren, CH
- 50-µm-Al ₂ O ₃ Blassand	Benzer-Dental AG, Zürich, CH
- Reinigungspulver für KaVo PROPHYflex 3, 2018	Kaltenbach & Voig GmbH, Biberach, D
- Clinpro™ Prophy Powder, LOT 296810	3M ESPE AG, Seefeld, D

Syntac Assortment

- Syntac Primer, LOT G27368	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Syntac Adhesive, LOT G26946	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Heliobond, LOT H22750	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL

Modifiziertes Syntac Assortment für die konfokale Laser-Raster Mikroskopie

- Syntac Primer, LOT J03126	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Syntac Adhesive, LOT J06705	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Heliobond, LOT J05403	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
- Rhodamin B, LOT G07129	Fluka Chemie AG, Buchs, CH
- Fluorescein-5-isothiocyanat, LOT K23361246	Merk KGaA, Darmstadt, D

Um ein fluoreszierend markiertes Dentinadhäsivsystem zur Herstellung von Bildern mittels der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie (CLSM) zu erhalten, wurden ein Syntac Adhesive (Fläschcheninhalt 3 g) mit 0.1% Rhodamin B und ein Heliobond (Fläschcheninhalt 6 g) mit 0.1% Fluorescein-5-isothiocyanat (FITC) versetzt.

Mit einer Waage (METTLER AT261 Delta Range, Mettler Instrumente AG, Greiffensee, CH) wurde auf einem Wägepapier (Kantonsapotheke, Zürich, CH) 3 mg Rhodamin B (Fluka Chemie

AG, Buchs, CH) auf 0.1 mg genau abgewogen. Der Hals des Fläschchens mit Syntac Adhesive (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) wurde entfernt um die 3 mg Rhodamin B dazugegeben und wieder aufgesetzt. Analog wurde verfahren, um dem Heliobond (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) 6 mg Fluorescein-5-isothiocyanat (Merk KGaA, Darmstadt, D) beizumischen. Das mit Fluorochromen markierte Syntac Adhesive und Heliobond wurde dann 30 min in einem Überkopfschüttler (GFL 3025, Gesellschaft für Labortechnik mbH, Burgwedel, D) gemischt.

Vorbereitung der Versuchszähne

Für diese Studie wurden 56 ähnlich grosse, frisch extrahierte menschliche obere Molaren verwendet. Die Molaren waren frei von Karies und unbeschädigt. Vom Zeitpunkt ihrer Extraktion bis zum Start der Experimente wurden sie in einer 0.1%igen wässrigen Thymollösung bei 4 °C gelagert. Während dem weiteren Versuchsablauf wurde darauf geachtet, die Zähne nicht austrocknen zu lassen. Die Zähne wurden mit einem Handscaler (M23, Deppeler SA, Rolle, CH) von Desmodontalresten und harten Zahnbelägen befreit. Dann weiter mit einem Nylonbürstchen (Kenda AG, Vaduz, FL) im blauen Winkelstück (MICRO-MEGA, Besancon, F) und einem Gemisch aus Wasser und Bimssteinpulver (Unor, Schlieren, CH) gereinigt.

Da bei den Versuchen Dentinliquor wie auch Pulpainnendruck simuliert werden sollten, mussten die Zähne apikal abgedichtet werden. Diese Versiegelung erfolgte mit dem Syntac Classic Adhäsiv System (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL). Auf die gereinigten und mit ölfreier Luft getrockneten Wurzelspitzen wurde Syntac Primer (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) einmassiert (15 s), einwirken gelassen (15 s) und vorsichtig mit Luft getrocknet. Es wurde darauf geachtet, dass die Kavitäten nicht übertrocknet wurden. Das nachfolgend applizierte Syntac Adhesive (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) wurde nach 20 s Penetrationszeit ebenfalls luftgetrocknet. Nun folgte das Auftragen von Heliobond (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) auf die vorbehandelten Wurzelspitzen. Nach wiederum 20 s Wartezeit wurde die Versiegelung mit einer Halogen Polymerisationslampe (Optilux 500 mit Standardlichtleiter, Demetron Kerr, Danbury, USA) ausgehärtet (60 s). Weit geöffnete Foramina apicalia wurden weiter mit einem lichthärtenden Feinhybridkomposit (Tetric, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) abgedichtet. Dieser Komposit wurde auch verwendet, um die Versuchszähne mit einer Zentrierhilfe (PPK, Zürich, CH) orthograd auf Aluminiumprobenträger (Laubscher, Täuffelen, CH) zu fixieren (siehe Abbildung 1 a + b). Zur Stabilisierung wurden die Zahnwurzeln mittels Sockelformer (PPK, Zürich, CH) in einen autopolymerisierenden PMMA-Kunststoff (Paladur, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, D) eingebettet (siehe Abbildung 1 c).

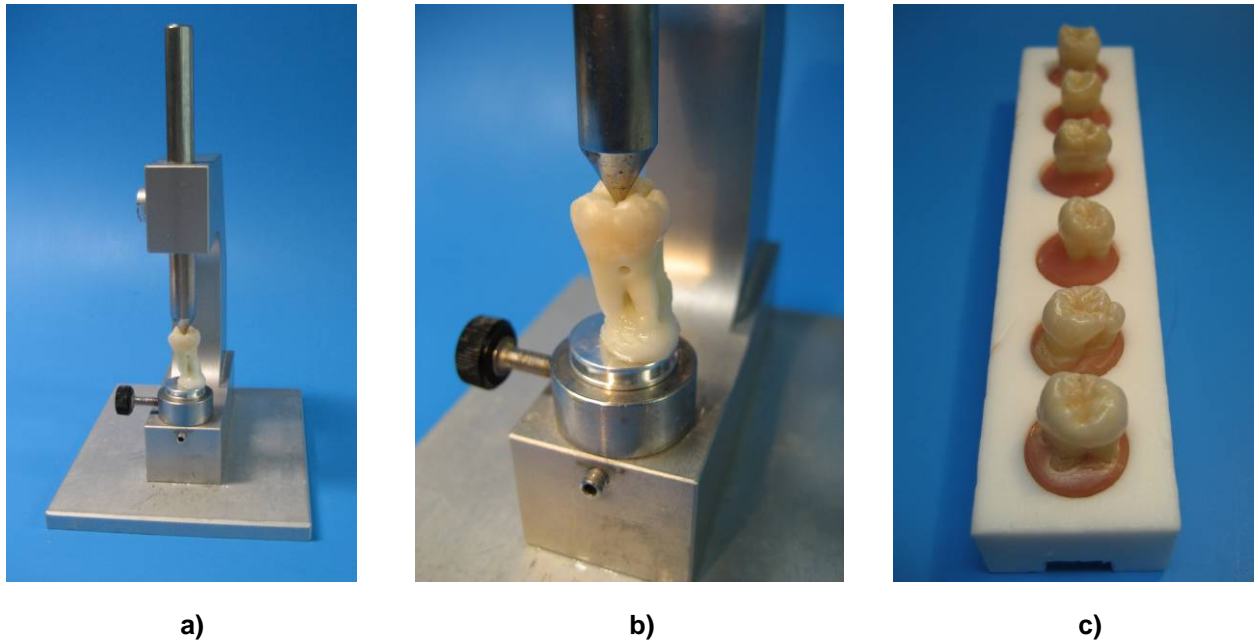


Abbildung 1 a) + b) Zentrische Positionierung und Fixierung der Zähne mittels Zentrierhilfe auf dem Probenträger, **c)** Einbettung in PMMA-Kunststoff im Sockelformer

Um später Dentinliquor und Pulpainnendruck von natürlichen vitalen Zähnen zu simulieren, wurde in der bukkalen, Wand 1 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze, eine bis ins Pulpakavum reichende Bohrung mit Durchmesser 1.4 mm vorgenommen. In diese wurde mit dem Syntac Classic Adhäsiv System ein Chrom-Nickel-Röhrchen mit Aussen- und Innendurchmesser 1.4×1.15 mm (Chrom-Nickel-Röhrchen, PPK, Zürich, CH) einpolymerisiert. Die Serumröhrchen wurden, um einen sicheren und dichten Verschluss zu gewährleisten, vorgängig an ihrem Insertionsende mit einem Pulverstrahlgerät (Micro Sandblaster, microetcher II, Danville Engineering Inc., San Ramon, USA) mit 50- μ m-Aluminiumoxidpulver (Benzer-Dental AG, Zürich, CH) sandgestrahlt.

Versuchsplanung und Gruppeneinteilung

Die 56 vorbereiteten Versuchszähne wurden zufällig auf sieben Gruppen zu jeweils acht Zähnen (Stichprobenmenge $n = 8$) verteilt. Die Gruppe I diente als Kontrollgruppe einer direkten Restauration und wurde nicht provisorisch versorgt. Den weiteren Gruppen wurde eine bestimmte Technik zur Entfernung des provisorischen Zementes und Reinigung der Kavität vor der Inlayinsertion zugeordnet (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Beschreibung der Versuchsgruppen I-VII

	Gruppe I Kontrolle	Gruppe II Bimsstein	Gruppe III NaHCO ₃	Gruppe IV Al ₂ O ₃	Gruppe V Nachfinieren	Gruppe VI cavity sealing	Gruppe VII Glycin
Grobpräparation	x	x	x	x	x	x	x
Dentinliquor- und Pulpainnendrucksimulation						x	
Cavity Sealing (2x Bondauftrag)						x	
Finieren	x	x	x	x	x	nur Kavitätenrand	x
Abformung, Inlayherstellung auf dem Modell	x	x	x	x	x	x	x
Provisorische Versorgung		x	x	x	x	x	x
Dentinliquor- und Pulpainnendrucksimulation	x	x	x	x	x	x	x
Entfernung Provisorium		x	x	x	x	x	x
Reinigung der Kavität		Scaler Nylonbürste Bimsstein+H ₂ O	Scaler Pulverstrahlgerät NaHCO ₃	Scaler Pulverstrahlgerät Al ₂ O ₃	Scaler	Scaler Nylonbürste Bimsstein+H ₂ O	Scaler Pulverstrahlgerät Glycin
Nachfinieren der Kavität					x		
Nachfinieren der Dentinstufe					x	x	
Bonding	Total Bonding	Total Bonding	Total Bonding	Total Bonding	Total Bonding	Selective Bonding	Total Bonding
Inlayinsertion und Ausarbeitung	x	x	x	x	x	x	x

Kavitätenpräparation

Grobpräparation

Die Grobpräparation wurde unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück (MICRO-MEGA, Besancon, F) und einem zylindrischen 80-µm-Präparierdiamanten (FG 8614, Intensiv SA, Grancia, CH) ausgeführt. In die Versuchszähne aller Gruppen wurden standardisierte, mesio-okkluso-distale (MOD) Klasse II-Kavitäten mit ebenen Böden in den approximalen und okklusalen Kästen präpariert. Die Kavitäten wurden nach den Präparationsrichtlinien für CEREC-Inlays präpariert (ENDER & MÖRMANN 2005). Die zervikale Stufe des approximalen Kastens wurde auf der einen Seite 1 mm inzisal der Schmelz-Zement-Grenze und auf der Gegenseite genau auf der Höhe der Schmelz-Zement-Grenze im Dentin präpariert. Damit wurden die Randverhältnisse bei grossen Approximalkästen mit Dentinrandanteilen ebenfalls erfasst. Aufgrund der Morphologie des Versuchszahnes wurde entschieden, an welcher zervikalen Approximalfläche der Kasten bis an die Schmelz-Zement-Grenze reichen sollte bzw. an welcher Approximalfläche ein 1 mm breiter Schmelzrand stengelassen wurde. Die Umrissform wurde gleichmässig und fließend ohne scharfe Ecken und Kanten präpariert. Spitze Innenwinkel wurden vermieden. Die Kavitätenwände der okklusalen Kästen wurden parallel präpariert. Die approximalen, bukkalen und palatinalen Kavitätenwände wurden mit einem nach okklusal divergierenden Öffnungswinkel von 4° bis 6° präpariert. Die Parallelität der Einschubachsen der mesialen und distalen Kästen wurde auf Einsicht aus einer Blickrichtung geprüft (siehe Abbildung 2).

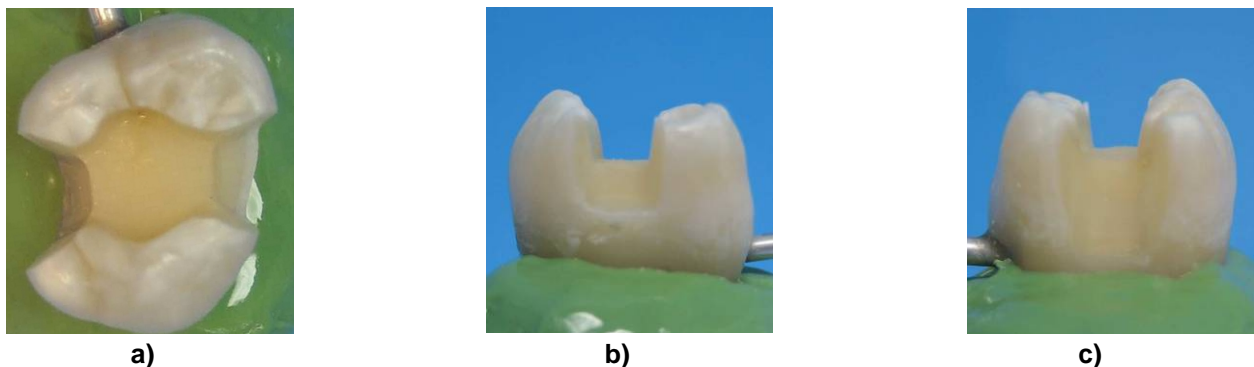


Abbildung 2 MOD-Kavität für ein CEREC-Inlay mit einem Approximalkasten im Schmelz und einem im Dentin; **a)** Ansicht von okklusal **b)** Ansicht von mesial auf die Schmelzstufe **c)** Ansicht von distal auf die Dentinstufe

Versiegelung des Kavitätendentins der Gruppe VI: "Cavity Sealing"-Gruppe

Zur Simulation des physiologischen Pulpainnendruckes und des Dentinliquors während der Versiegelung, wurden die Röhrchen der Versuchszähne der Gruppe VI 24 h vor dem "Cavity Sealing" über einen Kunststoff-Laborschlauch (Novoplast AG, Wallbach, CH) mit einem Dentinliquoreservoir (PPK, Zürich, CH) verbunden. Dieses Reservoir war an einem Stativ in 30 cm Höhe angebracht. Über eine Membran-Vakuumpumpe (Vacuubrand GmbH+Co, Wertheim, D) wurde ein Unterdruck im Pulpakavum erzeugt. Durch Umschalten des Ventils wurde anschliessend der Dentinliquor aus verdünnter Pferdeserumlösung (25 Vol.-% Pferdeserum, PAA Laboratories GmbH, Pasching, A; 75 Vol.-% phosphatgepuffter Kochsalzlösung, Oxoid Ltd., Hampshire, GB) in das Vakuum gesogen (LUTZ ET AL. 1997). Da sich das Flüssigkeitsreservoir des Dentinliquorersatzstatives 34cm über den Versuchszähnen befand, konnte ein statischer Druck, der dem Pulpainnendruck von 25 mmHg einer natürlichen vitalen Pulpa entspricht, simuliert werden (VAN HASSEL 1971) (MITCHEM ET AL. 1988) (TAO & PASHLEY 1989) (KREJCI ET AL. 1993a) (PAUL & SCHÄRER 1993) (MOLL & HALLER 2000). Nachdem die Versuchszähne 24 h an dieser Apparatur angeschlossen waren, wurde das Dentin unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten (FG 3614, Intensiv SA, Grancia, CH) angeraut, um frisches Dentin auf der zu versiegelnden Kavität zu erhalten und so möglichst klinische Voraussetzungen zu schaffen. Anschliessend wurden die Versuchszähne vor dem Auftragen des mit Fluorochromen markierten Dentinadhäsivsystems mit ölfreier Luft getrocknet. Als erstes erfolgte das Konditionieren der Dentinoberfläche mittels Syntac Primer. Dieser wurde einmassiert (15 s), einwirken gelassen (15 s) und vorsichtig mit ölfreier Luft getrocknet. Es wurde darauf geachtet, dass die Kavitäten nicht übertrocknet wurden. Das nachfolgend applizierte, Rhodamin markierte, Syntac Adhesive wurde nach 20 s Penetrationszeit ebenfalls luftgetrocknet. Nun folgte ein erstes Auftragen des Fluorescein markierten Heliobonds in einer möglichst dünnen, gleichmässigen Schicht, welche gegebenenfalls durch abblasen mit ölfreier Luft erreicht wurde. Nach wiederum 20 s Wartezeit wurde das Heliobond 60 s mit einer Halogen Polymerisationslampe (Optilux 500 mit Standardlichtleiter, Demetron Kerr, Danbury, USA) ausgehärtet. Das Auftragen und Aushärten des Heliobonds wurde analog ein zweites Mal durchgeführt. Mit einem in 96 % Vol.-% Alkohol (Kantonsapotheke Zürich, CH) getränkten Polyurethanschaumstoffpellet (Pele Tim N° 2, VOCO GmbH, Cuxhaven, D) wurde die oberflächliche sauerstoffinhibierte Schicht des polymerisierten Heliobonds entfernt um eine potentielle Interaktion mit dem Abformmaterial zu vermeiden. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Versuchszähne aufgrund der Lichtempfindlichkeit der verwendeten Fluorochrome unter Lichtschutz im Dunkeln bei 100 % Luftfeuchtigkeit aufbewahrt.

Feinpräparation

Die Feinpräparation und das Finieren der Kavität wurden unter ständiger Wasserkühlung mit einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten und unter einem Stereo-Mikroskop (Stemi 2000, Carl Zeiss AG, Feldbach, CH) bei bis zu 12facher Vergrößerung ausgeführt. Die Approximalkästen wurden mit dem Ultraschall-Gerät miniPiezon (EMS, Nyon, CH) und den für die approximale Präparation vorgesehenen Instrumenten SM und SD (EMS, Nyon, CH) mit einer Körnung von 70 µm finiert. Bei der Gruppe VI erfolgte nach dem "Cavity Sealing" die Feinpräparation der Randanteile, der Approximalkästen und der okklusalen Schmelzränder mit den gleichen Instrumenten. Es blieb polymerisiertes Heliobond auf den Kavitätenböden und den pulpo-axialen Kavitätenwänden bestehen. Die Apparatur zur Simulation des Dentinliquors und Pulpainnendruckes bei der Gruppe VI wurde nach der Feinpräparation wieder entfernt.

Abformung und Modellherstellung

Nach der Feinpräparation erfolgte die Abformung der Versuchszähne mit einem niedrigviskosen, additionsvernetzenden Zwei-Komponenten-Silikon (President Plus light body, Coltène Whaledent AG, Altstätten, CH). Mit einem Einwegmischansatz wurde das Material zuerst gleichmässig in die Kavität eingebracht. Als Abformhilfe wurden Aluminiumringe mit einem Innendurchmesser von 18 mm und einer Höhe von 15 mm verwendet, welche ebenfalls mit dem Silikon aufgefüllt wurden und in welche die Versuchszähne platziert wurden. Nach der Aushärtung des Silikons wurden die Versuchszähne entfernt und die vorhandenen Negativformen auf Blasenfreiheit kontrolliert (siehe Abbildung 3 a).

Um die Oberflächenspannung des Silikons zu reduzieren und das Ausgiessen zu erleichtern, wurden die Abformungen vor dem Ausgiessen mit einer nichtionischen Tenside enthaltenden Flüssigkeit entspannt (Dipol, Benzer-Dental AG, Zürich, CH). Nach dem Lufttrocknen wurden die Abformungen mit einem Superhartgips ausgegossen, welcher speziell für die optoelektronische Abtastung der Modelle, ohne Pudern, geeignet ist (CAM-base, Dentona AG, Dortmund, D). Die so erhaltenen Gipsmodelle wurden wiederum auf Blasenfreiheit kontrolliert und zirkulär getrimmt (siehe Abbildung 3 b).

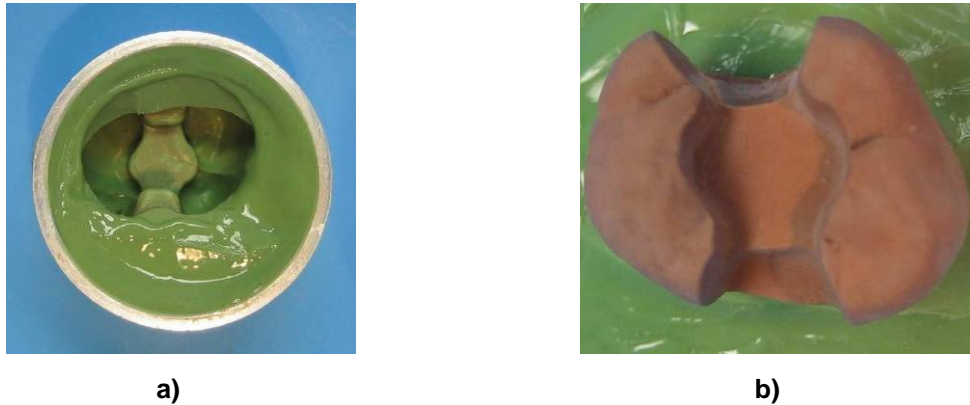


Abbildung 3 a) Abformung mit Silikon in einem Aluminiumring, **b)** ausgegossenes Gipsmodell

Provisorische Versorgung

Die provisorische Versorgung der Versuchszähne wurde nach der Abformung vorgenommen. Ein für die provisorische Versorgung von Inlay-Präparationen vorgesehenes lichthärtendes Einkomponentenmaterial (Fermit, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) wurde in die Kavität gebracht, modelliert und auspolymerisiert (60 s, Optilux 500 mit Standardlichtleiter, Demetron Kerr, Danbury, USA). Mit dem Handscaler wurde das Provisorium vorsichtig wieder aus der Kavität entfernt und mittels eines provisorischen, eugenolfreien Befestigungszementes (Temp-Bond NETM, Kerr, Orange, CA, USA) nach den Herstellerangaben wieder befestigt. Nach der provisorischen Versorgung wurden die Versuchszähne eine Woche bei 37 °C in einem Wärmeschrank (WTB Binder, Tuttlingen, D) dunkel gelagert.

Herstellung der Inlays mittels CAD/CAM

Konstruktion der Inlays

Die Inlay-Herstellung erfolgte indirekt mit den ausgegossenen Gipsmodellen. Auf einem PC, welcher mit dem Scanner inEos (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D) und der Schleifeinheit CEREC inLab (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D) verbunden war, wurde die CEREC Software Version 2.70 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D) gestartet. Im Hauptmenü wurden als neue Restaurationen jeweils Inlays eingegeben und gemäss der Makromorphologie der Versuchszähne der Zahn 16 oder 26 ausgewählt. Als Konstruktionsart wurde "Zahndatenbank" gewählt, womit später die morphologische Form der Restauration von der Inlay-Zahndatenbank der Software generiert werden konnte.

Die Gipsmodelle wurden zur Aufsichtsaufnahme unter dem Scanner platziert. Über den Monitor wurde kontrolliert, dass alle Kavitätenwände und die zervikalen Stufen in einer der Einschubachse des Inlays entsprechenden Betrachtungsrichtung scharf dargestellt wurden.

Sobald die gewünschte Darstellung angezeigt wurde, wurde die Messaufnahme zur Berechnung des 3D-Modells ausgelöst. Die Software generierte daraufhin automatisch einen Restaurationsvorschlag. Der Inlayvorschlag wurde mit Konstruktionswerkzeugen angepasst. Die okklusale Dicke der Inlays betrug mindestens 1.3 mm. Damit war die Konstruktion des Inlays abgeschlossen (siehe Abbildung 4).

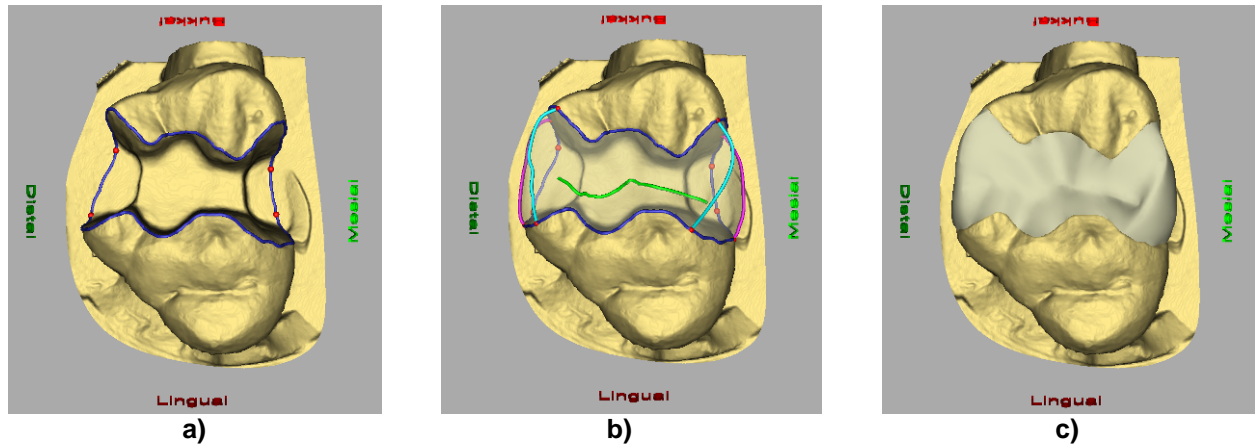


Abbildung 4 Scanbild Ansicht von okkusal **a)** mit eingezeichneten Präparationsrandlinien **b)** Konstruktionsvorschlag mit Konstruktionslinien **c)** Konstruiertes, virtuell eingesetztes Inlay

Formschleifen der Inlays

Die Parameter "Spacer" (generiert Platz an der Innenfläche der Restauration für das Befestigungsmaterial) und "Klebefuge" (definiert den Abstand zwischen Restaurationsrand und Kavitätenrand) wurden auf den Wert 20 µm festgelegt. Die Trennstelle mit dem Schleifansatz wurde an den grösseren approximalen Kanten gelegt.

Die Restauration wurde aus Feinpartikel-Feldspatkeramik-Rohlingen (VITABLOCS Mark II, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, D) formgeschliffen. Als Schleifinstrumente wurden links Cylinder Pointed Bur (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D) und rechts Cylinder Bur 1.6 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D) mit 1.6 mm Durchmesser verwendet. Es handelte sich um Diamantschleifer mit der Korngrösse 64 µm. Das Schleifwasser bestand jeweils aus Hahnenwasser mit 25 ml Schleifzusatz Dentatec Pro-CAD (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D). Nach dem Formschleifprozess wurde der Schleifansatz mit einem zylinderförmigen Finierdiamanten der Körnung 25 µm entfernt.

Die Passgenauigkeit der Inlays im Gipsmodell wurde getestet. Ungenauigkeiten wurden mit einem Silikon (FIT CHECKER, GC Corporation, Tokio, Japan) zur Überprüfung der Passgenauigkeit eruiert und unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten unter dem Stereo-Mikroskop bei bis zu 12facher Vergrößerung angepasst.

Entfernung der Provisorien und Reinigung der Kavität

Zur Simulation des physiologischen Pulpainnendruckes und des Dentinliquors wurden alle Versuchszähne 24 h vor der Entfernung der Provisorien und Reinigung der Kavität mit einem Dentinliquorersatz verbunden.

Nachdem die Versuchszähne 24 h an dieser Apparatur angeschlossen waren, wurden sie jeweils vor der Entfernung des Provisoriums in den Nachbarzahnsimulator (PPK, Zürich, CH) eingepasst und dieser in einem Gebisschädel mit Gesichtsmaske (KaVo Dental GmbH, D) befestigt (siehe Abbildung 5). Dies, um unter möglichst klinischen Bedingungen die Entfernung des Provisoriums, Reinigung der Kavität sowie Inlayinsertion und Aushärtung des Befestigungskomposites zu simulieren.

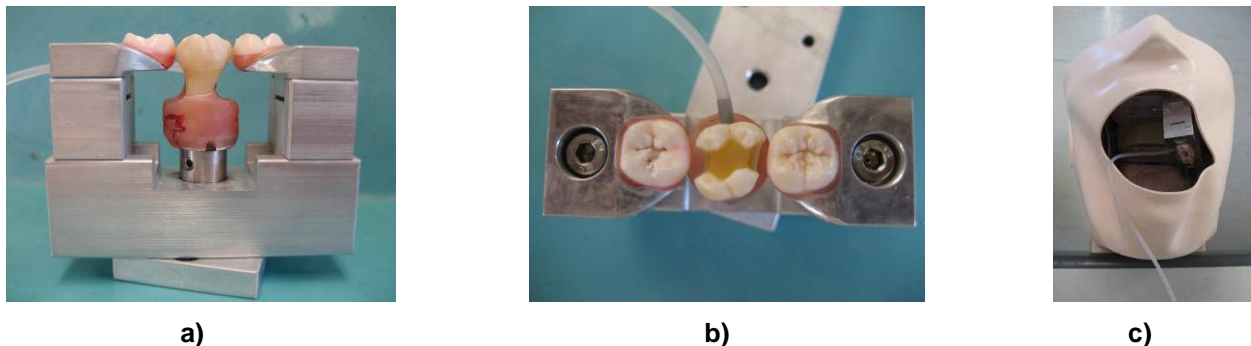


Abbildung 5 a) Nachbarzahnsimulator mit Versuchszahn seitlich b) Ansicht von oben c) Gebisschädel mit Gesichtsmaske nach dem Einsetzen des Nachbarzahnsimulators

Gruppe I: Direktes Inlay (Kontrolle)

In dieser Gruppe ohne provisorische Versorgung, wurden die Kavitäten unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten angeraut, um frisches Dentin auf der zu versorgenden Kavität zu erhalten und so klinische Voraussetzungen für eine direkte Restauration zu schaffen.

Gruppe II: Bimsstein

Entfernung des Provisoriums und Reinigung der Kavität mit einem Scaler und Wasserspray. Weiter Reinigung der Kavität mit einem Nylonbürstchen im blauen Winkelstück und einem Gemisch aus Wasser und Bimssteinpulver.

Gruppe III: NaHCO₃

Entfernung des Provisoriums und Grobreinigung der Kavität mit einem Scaler und Wasserspray. Weiter Reinigung der Kavität mit einem Pulverstrahlgerät (PROPHYflex 3, KaVo Dental GmbH, D) und einem Reinigungspulver (Reinigungspulver für KaVo PROPHYflex 3, Kaltenbach & Voig GmbH, Biberach, D); mit Natriumbicarbonat (NaHCO₃) als Hauptbestandteil.

Gruppe IV: Al₂O₃

Entfernung des Provisoriums und Grobreinigung der Kavität mit einem Scaler und Wasserspray. Weiter Reinigung der Kavität mit einem Pulverstrahlgerät (Micro Sandblaster, microetcher II, Danville Engineering Inc., San Ramon, USA) und 50-µm-Aluminiumoxidpulver (Benzer-Dental AG, Zürich, CH)

Gruppe V: Nachfinieren

Entfernung des Provisoriums und Reinigung der Kavität mit einem Scaler und Wasserspray. Weiter wurde die ganze Kavität unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten nachfiniert.

Gruppe VI: "Cavity Sealing"

Entfernung des Provisoriums und Reinigung der Kavität mit einem Scaler und Wasserspray. Weiter Reinigung der Kavität mit einem Nylonbürstchen im blauen Winkelstück und einem Gemisch aus Wasser und Bimssteinpulver. Darauf folgte das Nachfinieren der Dentinstufe unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten.

Gruppe VII: Glycin

Entfernung des Provisoriums und Grobreinigung der Kavität mit einem Scaler und Wasserspray. Weiter Reinigung der Kavität mit einem Pulverstrahlgerät (PROPHYflex 3, KaVo Dental GmbH, D) und einem Reinigungspulver (Clinpro™ Prophy Powder, 3M ESPE AG, Seefeld, D); basierend auf einem Salz der Aminosäure Glycin mit einer mittleren Korngrösse von kleiner als 63 µm (HETZEL 2006).

Inlay Insertion und Ausarbeitung

Nach der Entfernung der Provisorien und jeweiliger Reinigung der Kavität erfolgte die Einprobe des Inlays am Versuchszahn im Nachbarzahnsimulator des Gebisschädels mit Gesichtsmaske. Wurden Passungenauigkeiten festgestellt, so wurden diese wiederum mit einem Polyvinylsiloxan (FIT CHECKER, GC Corporation, Tokio, Japan) eruiert. Unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und einem zylindrischen 25-µm-Finierdiamanten unter dem Stereo-Mikroskop bei bis zu 12facher Vergrößerung erfolgten allfällige Korrekturen.

Vorbehandlung des Inlays

Die mit ölfreier Luft gründlich getrockneten Inlay-Innenseiten wurden mit einem 4,9% Flusssäure-Ätz-Gel (VITA CERAMICS ETCH, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, D) 60 s angeätzt. Das Ätzgel wurde dann 40 s mit Wasserspray entfernt. Danach wurde das Inlay mit ölfreier Luft gründlich getrocknet. Ein Silan (Monobond-S, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) wurde auf die Inlay-Innenseite appliziert und 60 s gewartet bis das Lösungsmittel verdunstet war. Nun folgte sofort das Auftragen von unmarkiertem Heliobond in einer möglichst dünnen, gleichmässigen Schicht, welche gegebenenfalls durch abblasen mit Luft erreicht wurde. Das fertig vorbehandelte Werkstück wurde danach bis zum Einsetzen lichtgeschützt aufbewahrt.

Adhäsive Vorbehandlung der Zahnhartsubstanz

Als erstes erfolgte das selektive Ätzen der Schmelzränder für 30 s mit der Applikationsspritze eines 35% Phosphorsäure-Ätz-Gels (Ultra-Etch, Ultradent Products, Inc, South Jordan, Utha, USA). Nach 40 s wurde das Ätzgel mit Wasserspray entfernt. Danach wurde der Versuchszahn mit Luft gründlich getrocknet, ohne das Dentin zu übertrocknen, und das Ätzmuster kontrolliert. Als nächstes folgte das Konditionieren der Dentinoberfläche mittels Syntac Primer. Dieser wurde einmassiert (15 s), einwirken gelassen (15 s) und vorsichtig mit Luft getrocknet. Es wurde darauf geachtet, dass die Kavitäten nicht übertrocknet wurden. Das nachfolgend applizierte, Rhodamin versetzte, Syntac Adhesive wurde nach 20 s Penetrationszeit ebenfalls luftgetrocknet. Weiter folgte das Auftragen des Fluorescein markierten Heliobonds in einer möglichst dünnen, gleichmässigen Schicht, welche gegebenenfalls durch abblasen mit Luft erreicht wurde. Nach wiederum 20 s erfolgte die Lichthärtung für 60 s mit einer Halogen Polymerisationslampe.

Einsetzen der Inlays

Ein lichthärtender Feinpartikel-Hybridkomposit (Tetric 110/A1, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL) in Cavifils wurde direkt in die Kavität appliziert. Danach wurden alle Boden- und Wandanteile mit Befestigungskomposit bedeckt, indem dieses mit einem Kugelstopfer (125 BR 126, Deppeler SA, Rolle, CH) gleichmässig an die Kavität adaptiert wurde. Das Inlay wurde mit einer diamantierten Pinzette vorsichtig bis etwa $\frac{3}{4}$ seiner Höhe in die Kavität eingesetzt und grobe Überschüsse mit einer Kuhornsonde (EXD 5, Hu-Friedy, USA) entfernt. Das endgültige Einsetzen erfolgte mit der Ultraschall-Insertionstechnik. Die SP-Peek Kappe (EMS, Nyon, CH) auf dem Handstück des Ultraschall-Gerätes (miniPiezon, Demetron Kerr, Danbury, USA) wurde dabei auf die Okklusalfäche des Inlays aufgesetzt. Grobe Überschüsse wurden wiederum mit der Kuhornsonde entfernt, leichte Überschüsse im Randbereich belassen. Die Aushärtung des Befestigungsmaterials erfolgte mit einer Halogen Polymerisationslampe (Optilux 500, Demetron Kerr, Danbury, USA) mit aufgesetztem 8mm Turbo Lichtleiter (8 mm x 77 mm) mit einer Leistung von 1000 mW/cm^2 , um auch in den tiefen approximalen Kästen die Aushärtung sicherzustellen. Die Leistung wurde vor jeder Versuchsgruppe mit einem Radiometer (Optilux Radiometer, Kerr Corporation, Danbury, USA) überprüft. Der Bestrahlungsmodus betrug 3 x 60 s pro Approximalraum. Zuerst wurde bukkal, dann palatinal und schlussendlich noch okklusal lichtgehärtet.

Ausarbeitung und Politur der Restauration

Die Ausarbeitung und Vorphitur der Restaurationen erfolgte unter ständiger Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und Diamantschleifkörpern der Körnung $40 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m}$ und $8 \mu\text{m}$ (Intensiv SA, Grancia, CH). Bei der Ausarbeitung der Restaurationsränder wurde unter dem Stereo-Mikroskop bei bis zu 12facher Vergrösserung auf einen sichtbaren Übergang von der Zahnhartsubstanz auf das Komposit und die Keramik geachtet, um eine spätere raster-elektronenmikroskopische (REM) Randauswertung der Restaurationsränder zu ermöglichen. Die abschliessende Hochglanzpolitur wurde mit einem blauen Winkelstück und Polierscheiben (Soft Lex, 3M ESPE AG, St.Paul MN, USA) in absteigender Rauigkeit bis zur feinsten Körnung unter ständiger Wasserkühlung durchgeführt (siehe Abbildung 6).



a)



b)



c)

Abbildung 6 Poliertes Inlay **a)** Ansicht von okklusal **b)** Ansicht von mesial **c)** Ansicht von distal

Belastung im Kausimulator

Nach dem Einsetzen und Ausarbeiten der Restaurationen erfolgte in einem computergesteuerten Kausimulator (PPK, Zürich, CH) eine zyklische, thermomechanische Belastung der Versuchszähne mit Human-Antagonisten unter Dentinliquorsimulation (siehe Abbildung 7).

Antagonistenmaterial

Als Antagonisten im Kausimulator wurden für alle sechs Gruppen die palatinalen, zentrischen Höcker von extrahierten menschlichen Oberkiefermolaren verwendet. Diese wurden auf die zentralen Fossae der Versuchszähne ausgerichtet (siehe Abbildung 7 b).



a)



b)

Abbildung 7 a) Probekammer des computergesteuerten Kausimulators **b)** Versuchszahn angeschlossen an Dentinliquorersatz mit Antagonist

Thermomechanische Belastung

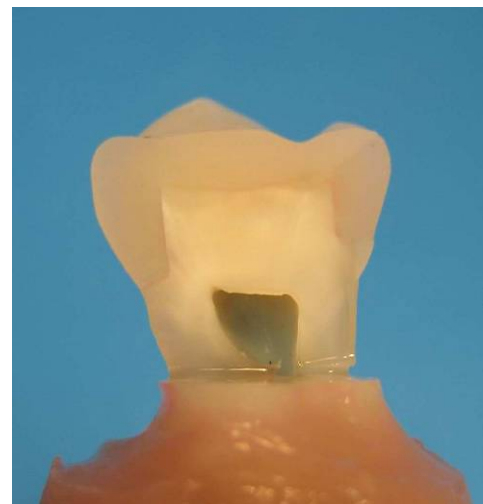
Im computergesteuerten Kausimulator erfolgte die zyklische, thermomechanische Belastung der Versuchszähne. Es wurden 3000 Thermozyklen von 5°-50°-5° C mit einer Zyklusdauer von 2 min und einer Temperaturwechselphase von 5 s durchgeführt. Die zusätzliche mechanische Belastung über die Antagonisten betrug 1'200'000 mechanische Kontakte mit einer Kraft von 49 N und einer Frequenz von 1.7 Hz (KREJCI ET AL. 1990). Mit dieser thermomechanischen Kausimulation wurde eine Belastung erzielt, welche in vivo ungefähr umgerechnet 5 Jahren entspricht (KREJCI & LUTZ 1990) (KREJCI ET AL. 1990).

Schneiden und Replikaherstellung der Versuchszähne

Nach Abschluss der thermomechanischen Belastung im Kausimulator wurden die Versuchszähne entlang der Hauptfissur in mesiodistaler Längsachse mit einer langsam rotierenden Säge (Isomet Low Speed Saw, Buehler, Illionis, USA) mit Diamant-Trennscheibe (Wirtz-Buehler GmbH, Düsseldorf, D) geschnitten und poliert (siehe Abbildung 8). Die Kühlung erfolgte durch Kerosen (Fluka Chemie AG, Buchs, CH), da sich die verwendeten Fluorochrome darin schlechter lösen als in Wasser. Auf die Schnittfläche schauend wurde jeweils die Hälfte für die weiteren Untersuchungen verwendet, welche auf der linken Seite den Kasten im Schmelz und auf der rechten Seite den tiefen Kasten im Dentin aufwiesen. Die weitere Lagerung der Versuchszähne geschah im Dunkeln bei 100 % Luftfeuchtigkeit.



a)



b)

Abbildung 8 a) Schnitten der Versuchszähne mit Diamant-Trennscheibe unter Kerosenkühlung **b)** Geschnittener Versuchszahn

Bei den entlang der Hauptfissur geschnittenen Versuchszähnen wurden, für die spätere REM-Analyse der internen Adaptation, von einer Innenfläche der Restauration Abformungen gemacht. Dafür wurden diese mit einem Luftstrom getrocknet und mit einem niedrigviskösen, additionsvernetzenden Zwei-Komponenten-Silikon (President Plus light body, Coltène Whaledent AG, Altstätten, CH) abgeformt. Die Kontrolle der Abformung geschah unter dem Stereo-Mikroskop bei bis zu 12facher Vergrößerung. Nach 24 h wurden die Abformungen mit einem Zwei-Komponente-Epoxid-Harz (Stycast, Emerson & Cuming, Westerlo, B) ausgegossen. Nach einer Aushärtungszeit von 24 h wurden die gewonnenen Positive mit Cementit (Merz + Benteli AG, Niederwangen, CH) auf REM-Probenträger (Laubscher,

Täuffelen, CH) aufgeklebt. Um eine exakte REM-Abbildung der Topografie zu erhalten, musste die Oberfläche elektrisch leitend sein. Dazu wurden in einem mit Argongas gefüllten Glaszylinder eines Sputtergerätes (SCD 030, Balzers Union, Balzers, FL) die Repliken 40 s unter einem Druck von 0.08 mbar bei einer Stromstärke von 45 mA mit Gold überzogen (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9 Mit Gold überzogene Replik der Innenfläche der Restauration

Mikroskopie: Analyse der internen Adaptation

Es wurde eine Untersuchung der Dentin-Kunststoff-Verbundzone mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) durchgeführt. Mittels eines konfokalen Laser-Raster Mikroskops (CLSM) wurde das Penetrationsverhalten von Dentinadhäsiv und Dentinbond unter den verschiedenen Vorbehandlungen analysiert.

Raster-Elektronen Mikroskopie (REM)

Bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung rastern Primärelektronen die Oberfläche des zu untersuchenden Objektes und dringen mit hoher Energie in die obersten Schichten des Präparates ein. Aus den oberflächlichen Atomen des Objektes geschleuderte Sekundärelektronen werden von Detektoren erfasst, welche diese Signale in Grauwerte umwandeln. Diese ergeben ein exaktes Abbild der Topografie des Untersuchungsobjektes (siehe Abbildung 10). Um eine Reaktion der Elektronen mit Molekülen oder Atomen aus der Luft zu vermeiden, geschieht die REM Analyse unter Hochvakuum.

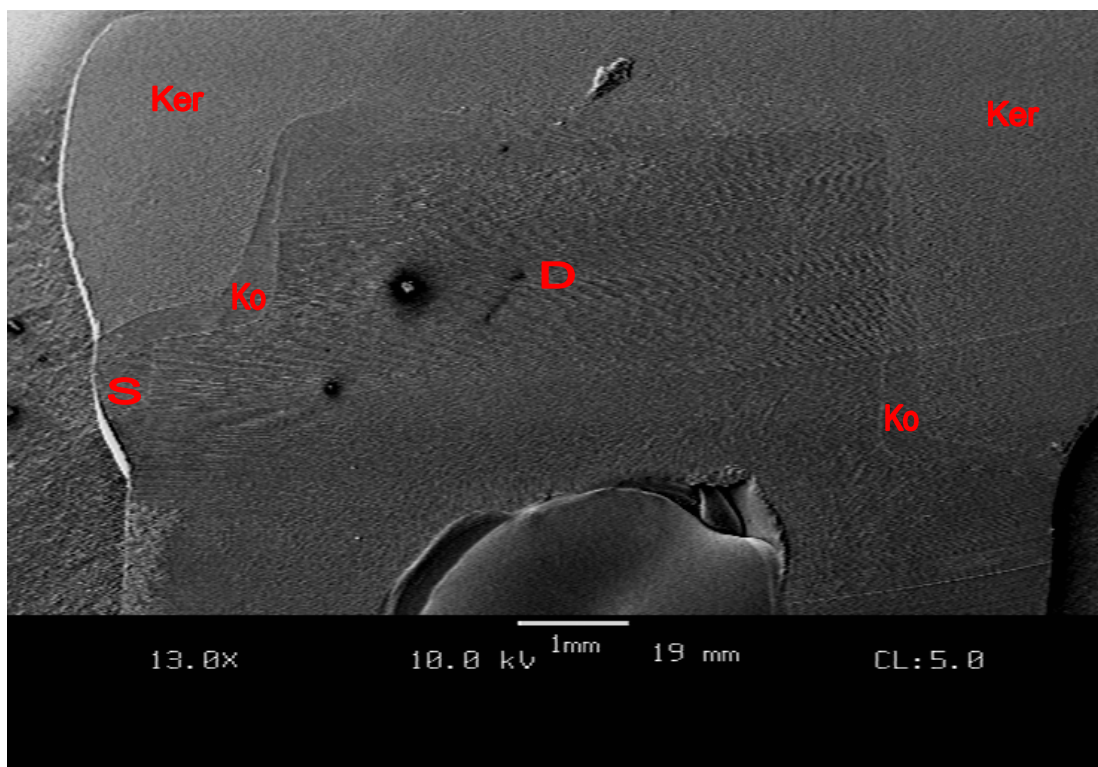
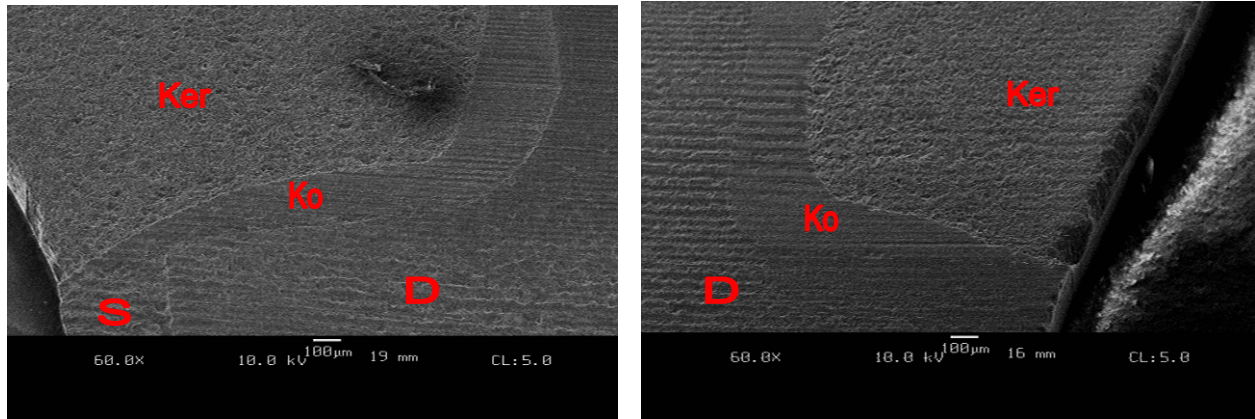


Abbildung 10 REM-Übersichtsaufnahme bei 13facher Vergrößerung (Gruppe I, Versuchszahn 1 (siehe **Tabelle 1**, Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

Zur Beurteilung der internen Adaptation wurde, an den hergestellten Repliken der Schnittflächen der Inlays, der innere Füllungsrand im Rasterelektronenmikroskop (Amray Inc., Bedford MA, USA) bei 200facher Vergrößerung untersucht (siehe Abbildung 11).

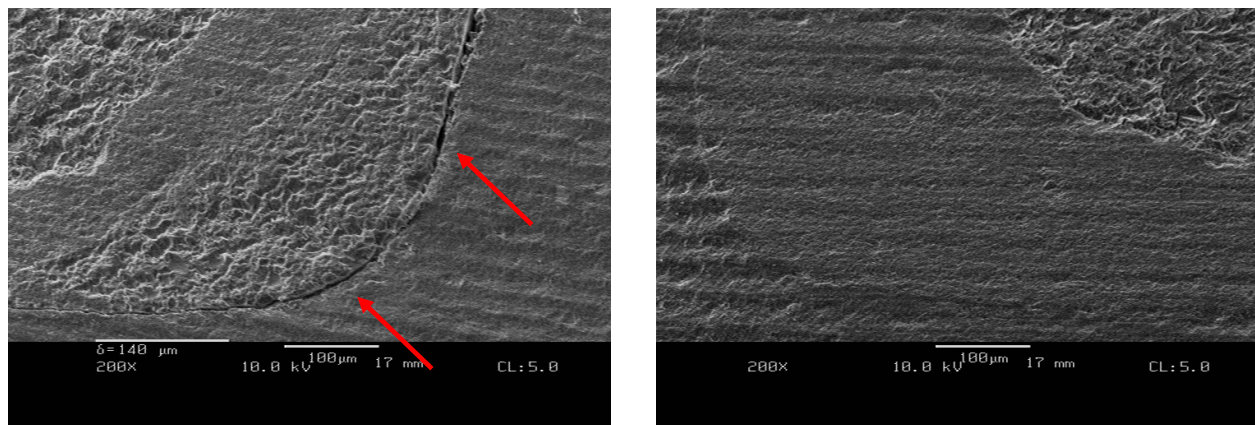


a)

b)

Abbildung 11 a) Schmelzstufe bei 60facher Vergrößerung (Gruppe VI, Versuchszahn 62, (siehe Tabelle 1, Seite 20)) **b)** Dentinstufe bei 60facher Vergrößerung (Gruppe VI, Versuchszahn 65, (siehe Tabelle 1, Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

Kriterien für die Analyse waren "Continuous Margin = CM" "Kontinuierlicher Rand" und "Non-Continuous Margin = NCM" "Nichtkontinuierlicher Rand". Als "Kontinuierlicher Rand" galten Randanteile, welche bei einer 200fachen Vergrößerung im REM keine Kontinuitätstrennung in der Zahnhartsubstanz-Kunststoffverbundzone erkennen liessen. Die Analyse bei der gewählten 200fachen Vergrößerung erfolgte an fortlaufenden Einzelbildern.



a)

b)

Abbildung 12 Bilder bei 200facher Vergrößerung a) mit Pfeilen markierter grosser Bereich mit "Nichtkontinuierlichem Rand" = NCM am Übergang Schmelzstufe zu axialer Wand (Gruppe II, Versuchszahn 24 (siehe Tabelle 1, Seite 20)) **b)** "Kontinuierlicher Rand" = CM am Übergang axiale Wand zu Dentinstufe (Gruppe VI, Versuchszahn 65 (siehe Tabelle 1, Seite 20))

Als Untersuchungsabschnitte wurden gewählt: zervikal im Schmelz, zervikal im Dentin, axial im Dentin, okklusal (siehe Abbildung 13).

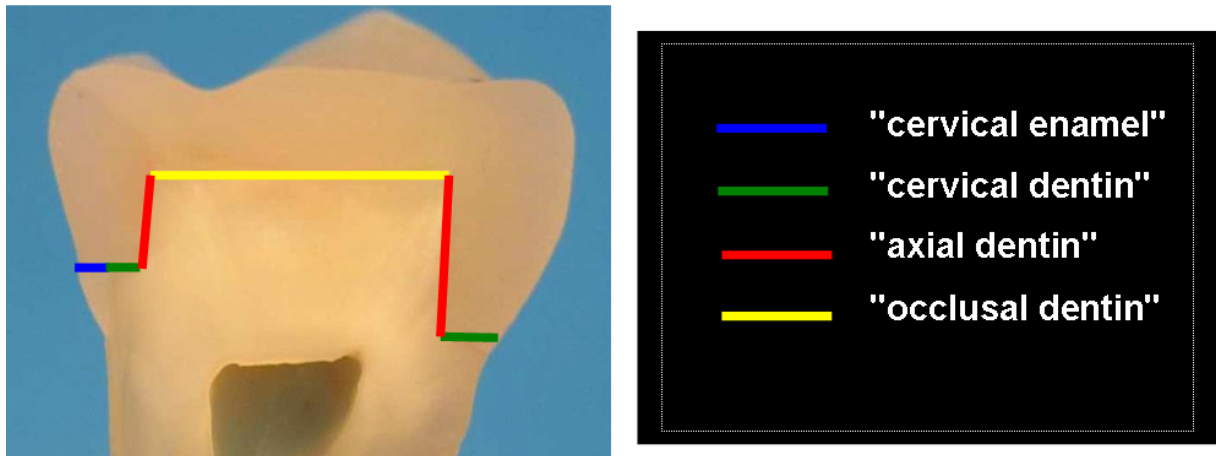


Abbildung 13 Darstellung der gewählten Untersuchungsabschnitte

Die pro Einzelbild und aus einzelnen Untersuchungsabschnitten gewonnenen Daten wurden summiert und in prozentuale Werte, bezogen auf den gesamten Untersuchungsabschnitt des jeweiligen Zahnes, umgerechnet. Weiter der prozentuale Wert an "Kontinuierlichem Rand" CM pro Versuchszahn und der prozentuale Anteil der einzelnen Untersuchungsabschnitte am gesamten inneren Füllungsrand berechnet (AIROLDI ET AL. 1992) (siehe Tabelle 11).

Konfokale Laser-Raster-Mikroskopie (Confocal Laser Scanning Microscopy = CLSM)

Bei der Fluoreszenzmikroskopie befinden sich in der zu untersuchenden Probe fluoreszierende Stoffe (Fluorochrome), welche mit Licht einer bestimmten Wellenlänge angeregt werden. Bei Anregung wird die Fluoreszenz der Fluorochrome als kurzzeitige, spontane Emission von Licht sichtbar.

Bei der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie (CLSM) rastert ein Laserstrahl punktweise das Präparat und regt die Fluorochrome, welche sich im Lichtweg des Laserstrahls befinden, an. Das Emissionslicht geht durch eine Lochblende (engl. pinhole), welche Streulicht von Strukturen ausserhalb der Fokusebene ausblendet. Dies ermöglicht die Aufnahme von optischen Schnitten entlang der Z-Achse und führt zu einer grösseren Bildschärfe.

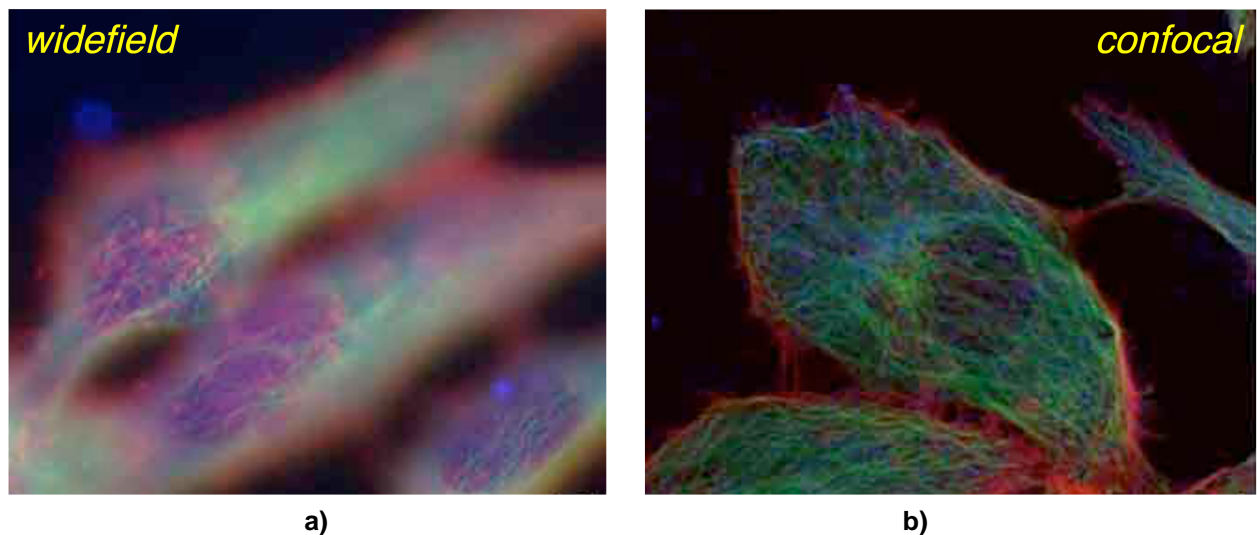


Abbildung 14 Höhere Auflösung in der Z-Achse und reduzierten Hintergrundinformation ausserhalb der Fokus Ebene machen konfokale Aufnahmen klarer. Vergleich von: **a)** widefield Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme **b)** konfokal Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme (Quelle: Center for Microscopy and Image Analysis, University of Zurich)

Mit einem konfokalen Laser-Raster-Mikroskop (Leica TCS SP5, Leica Microsystems CMS GmbH, Mannheim, D) und der dazugehörigen Scan-Einheit wurden mit einem 20x / 0.7 IMM Objektiv (Leica Microsystems CMS GmbH, Mannheim, D) und Glycerin (Leica Microsystems AG, Wetzlar, D) als Immersionsmedium an acht vorbestimmten Lokalisationen jedes Versuchszahnes Aufnahmen angefertigt (siehe Abbildung 15).

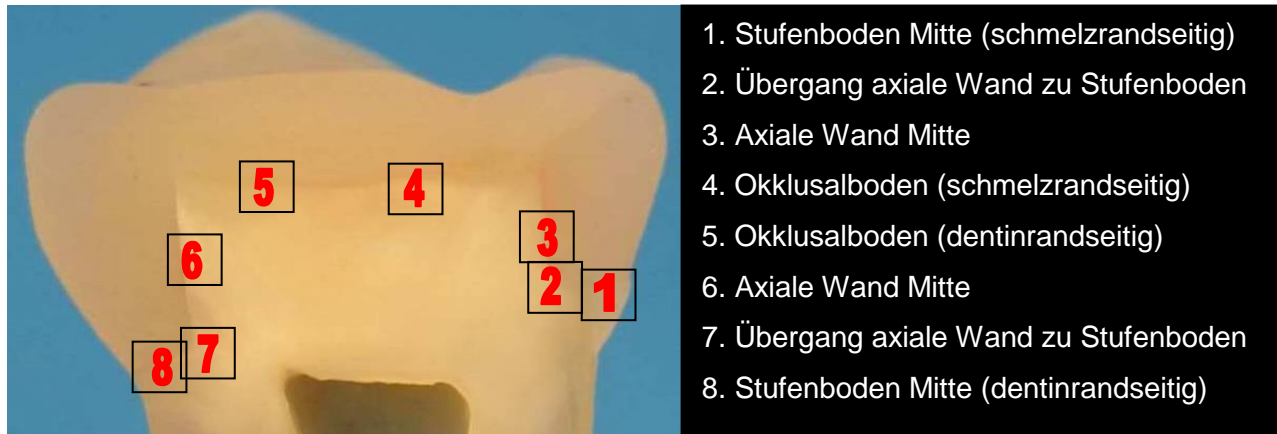


Abbildung 15 Versuchszahn mit markierten Aufnahmelokalisationen (siehe auch: **Abbildung 44** im Anhang Seite 99)

Dafür wurden jeweils zwei Proben in einem Zwei-Kammerdeckglas (Nalge Nunc International, Rochester NY, USA) mit einem 0.17 mm dicken Borosilikat-Boden auf einen Tropfen Glycerin gelegt. Als erstes erfolgte die manuelle Auswahl der Aufnahmelokalisation unter dem Mikroskop. In der Software Leica Application Suite (Leica Microsystems CMS GmbH, Mannheim, D) wurde ein sequenzieller Scan eingestellt, welcher die Emission des Rhodamin B (TRITC = Tetramethylrhodamin-isothiocyanat), des FITC (Fluorescein-isothiocyanat), wie auch eine Reflektion der Probe aufnahm. Die Fluorochrome wurden folgendermassen angeregt: FITC mit 488 nm (Argon-Laser), TRITC mit 561 nm (diode pumped solid state laser) (siehe Tabelle 2). Für die Reflektion der Probe wurde mit 633 nm (Helium-Neon-Laser) angeregt. Die Laserintensitäten wurden möglichst gering gehalten, um ein ausbleichen der Fluorochrome einzuschränken.

Tabelle 2 Fluorochrome mit Absorptions- und Emissions-Maxima

Fluorochrom Name	Absorption Maximum (nm)	Emission Maximum (nm)	Excitation/Emission
FITC	490	520	blau/grün
TRITC	547	572	grün/rot

Im Format 512 x 512 und einem Zoomfaktor von 1.5 erfolgte die Auswahl der Aufnahmelokalisation und Z-Achse bei standardisiertem Gain und Offset um eine optimale Auflösung an der jeweiligen Aufnahmelokalisation zu erhalten. Die eigentliche Aufnahme wurde mit Zoomfaktor 1.5 im Format 1024 x 1024 bei 400 Hz entsprechend einer Bildgrösse von 516.67 μm x 516.67 μm (in Pixel 505.05 nm x 505.05 nm) durchgeführt. So wurden pro Versuchszahn an acht Aufnahmelokalisationen jeweils zwei Aufnahmen gemacht, eine mit der Emission des dem Dentinadhäsiv beigemischten Fluorochrom (Rhodamin B) und eine weitere Aufnahme mit der Emission des dem Dentinbond beigemengten Fluorochrom (FITC) (siehe Abbildung 16).

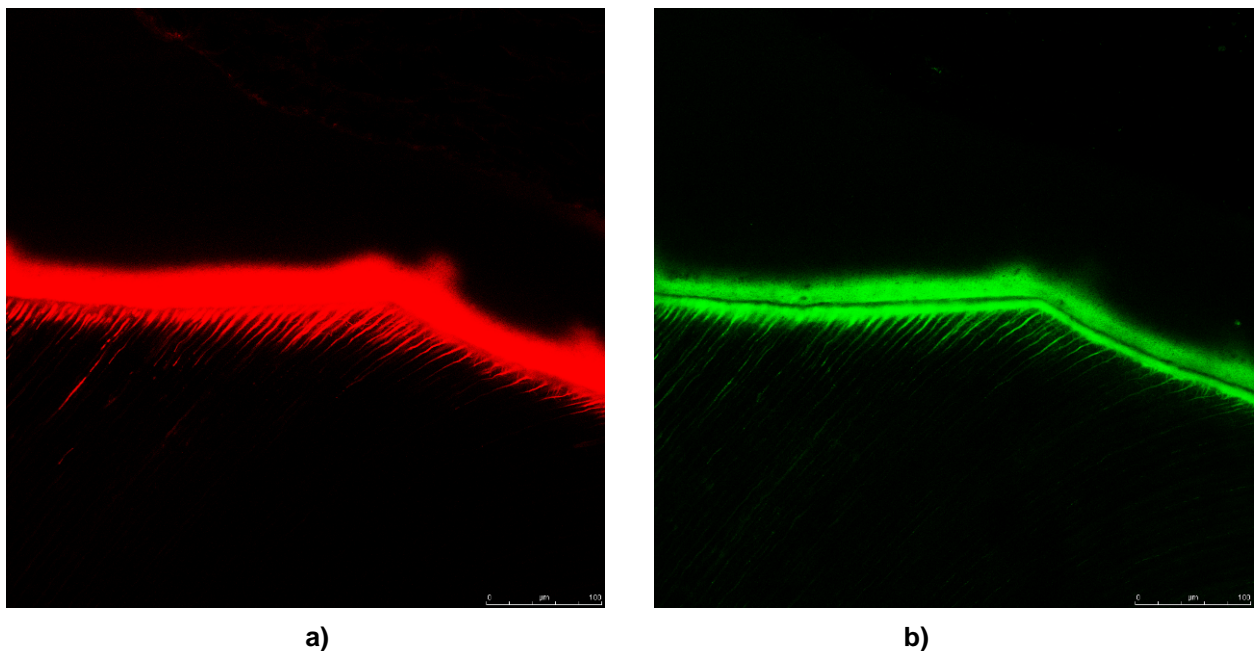
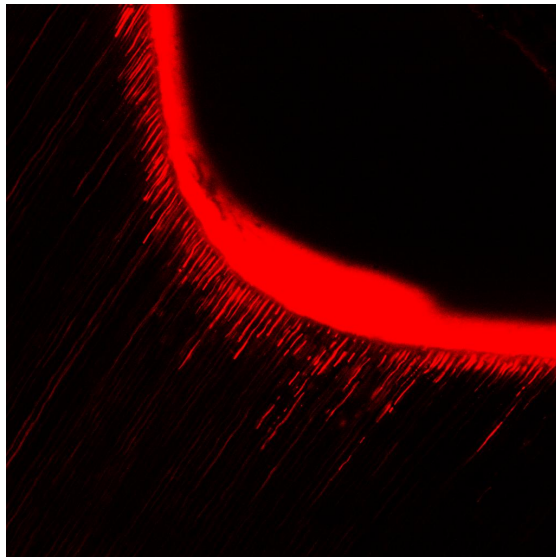


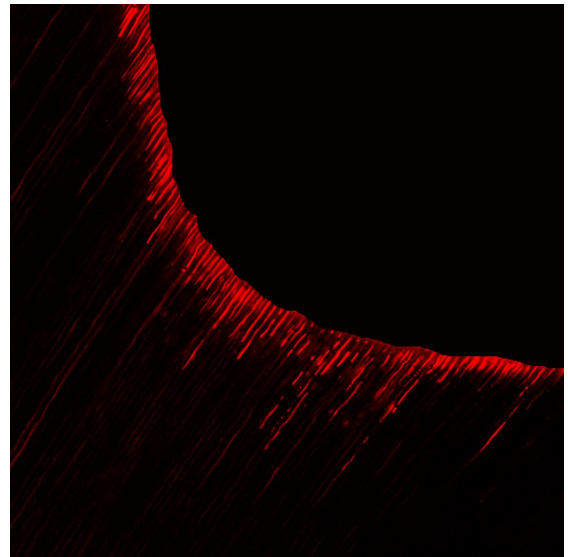
Abbildung 16 a) Emission des Rhodamin B im Dentinadhäsiv **b)** Emission des FITC im Bond, (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisation 1 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))

Die Aufnahmen wurden jeweils unter Angabe von Probennummer und Aufnahmelokalisation in Dateien vom Leica-Format "*.lif" abgespeichert. Die Dateien vom Leica-Format "*.lif" in eine "*.tiff" Datei konvertiert und gespeichert. Mit einer Auswertungs-Software (ImageJ 1.41o, Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA) wurden die Aufnahmen jeweils einer Versuchsprobe geöffnet. Die für die Dentinadhäsion wichtige Hybridschicht war auf den Aufnahmen nicht sicher von einer zur Adhäsion nichts beitragenden, oberflächlichen Schichtauflagerung von Syntac Adhesive und Heliobond zu unterscheiden. Deshalb wurde die reine Schichtbildung auf der Oberfläche vor der Vermessung mit einer Freihandauswahl ausgeschlossen, auch wenn damit die Hybridschicht aus der Auswertung ausgeschlossen wurde (siehe Abbildung 17). Die zu vermessende Region wurde durch Positionierung eines Messrahmes markiert. Es wurden die den anatomischen Strukturen entsprechend am stärksten markierten Abschnitte der Oberfläche in ihrer grössten Ausdehnung erfasst. Die Grösse des Messrahmens betrug 256 x 512 Pixel pro Messung, wobei an den Aufnahmen mit Übergängen

zur axialen Wand zwei Messungen erfolgten (siehe Abbildung 18). Es wurde eine Grauwertanalyse zur Quantifizierung des Ausmasses der tubulären Penetration innerhalb des Messrahmens durchgeführt. Eine Messung drückte die Flächendeckung der Pixel in Grauwerten als Prozentzahl der gesamten im Messbereich befindlichen Fläche aus. Die Freihandauswahl und der Messrahmen wurden jeweils als Maske gespeichert und identisch für die Rhodamin- und Fluorescein-Bilder verwendet.

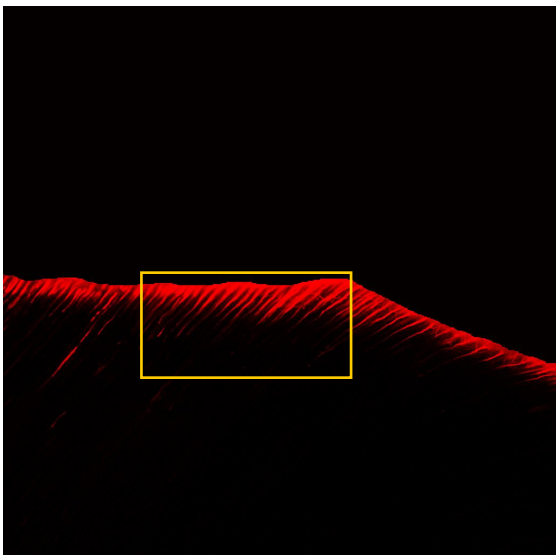


a)

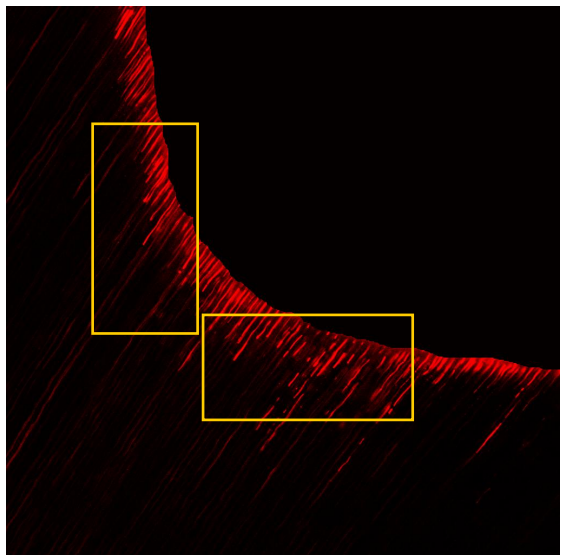


b)

Abbildung 17 a) Original Emissionsaufnahme vor der Bearbeitung **b)** Bearbeitetes Bild nach Ausschluss von Schichtauflagerungen und der Hybridschicht (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisation 2 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))



a)



b)

Abbildung 18 a) Positionierter Messrahmen 256 x 512 Pixel **b)** Aufnahmen mit Übergängen zur axialen Wand mit jeweils zwei Messrahmen (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisationen 1 + 2 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))

Statistische Methoden

Es wurden deskriptive Statistiken (Mittelwert, \pm Standardabweichung, bzw. Median und IQR) berechnet, und diese in Box-Plots dargestellt.

Mittels der Ein-Weg-Varianzanalyse (Analysis of Variance = ANOVA) wurde bei den Mittelwerten an "kontinuierlichem Rand" pro Untersuchungsabschnitt in den sieben unabhängigen Gruppen überprüft, ob sich die einzelnen Gruppen signifikant unterscheiden. Zur Kompensierung der multiplen Testsituation wurde bei einem Unterschied in einem nachfolgenden Post-Hoc-Test nach Bonferroni überprüft, welche Gruppen sich unterscheiden. Dabei wurde angenommen, dass $p < 0.05$ einen signifikanten Unterschied angibt, was einer Irrtumswahrscheinlichkeit von maximal 5 % entspricht.

Für den Vergleich der Grauwertanalysen der Fluorescein- und Rhodamin-Bilder in den sieben Behandlungsgruppen kam wegen der Verletzung der Annahme der Normalverteilung die nichtparametrische Varianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) zur Anwendung.

Die statistischen Auswertungen der Resultate erfolgten mit SPSS Version 16.0.2 und StatView Version 5.0 für Windows XP. Dazu wurde die deskriptive Statistik durchgeführt und das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 5 \%$ gesetzt.

Resultate

Raster-Elektronen-Mikroskopie

Die Resultate der REM-Analyse der internen Adaptation der verschiedenen Versuchsgruppen und Untersuchungsabschnitte sind in der Tabelle 11 (siehe Seite 100) im Anhang aufgeführt. Auf die Darstellung der Daten des "nichtkontinuierlichen Randes" wurde verzichtet, da sie sich mit den Werten des "kontinuierlichen Randes" auf 100% ergänzen.

Gesamter innerer Füllungsrand in den Gruppen I-VII (in Prozent)

Das schlechteste Ergebnis wurde in der Gruppe II mit 33.1 ± 9.4 % kontinuierlichem Rand erreicht. Die Resultate in der Gruppe I (58.1 %; $p = 0.0009$), der Gruppe III (66.9 %; $p < 0.0001$), der Gruppe IV (58.2 %; $p = 0.0008$), der Gruppe V (66.4 %; $p < 0.0001$), der Gruppe VI (76.7 %; $p < 0.0001$) und der Gruppe VII (73.8 %; $p < 0.0001$) ergaben einen signifikant höheren Anteil an kontinuierlichem Rand (siehe Tabelle 13 Seite 102).

Tabelle 3 Anteil an kontinuierlichem Rand in Prozent (%) (Mittelwert \pm Standardabweichung) über den gesamten inneren Füllungsrand in den Gruppen I-VII.

Gruppe I (Kontrolle)	58.1	\pm	13.7
Gruppe II (Bimsstein)	33.1	\pm	9.4
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	66.9	\pm	20.0
Gruppe IV (NaHCO ₃)	58.2	\pm	18.2
Gruppe V (Nachfinieren)	66.4	\pm	11.6
Gruppe VI ("Cavity Sealing")	76.7	\pm	11.0
Gruppe VII (Glycin)	73.8	\pm	11.4

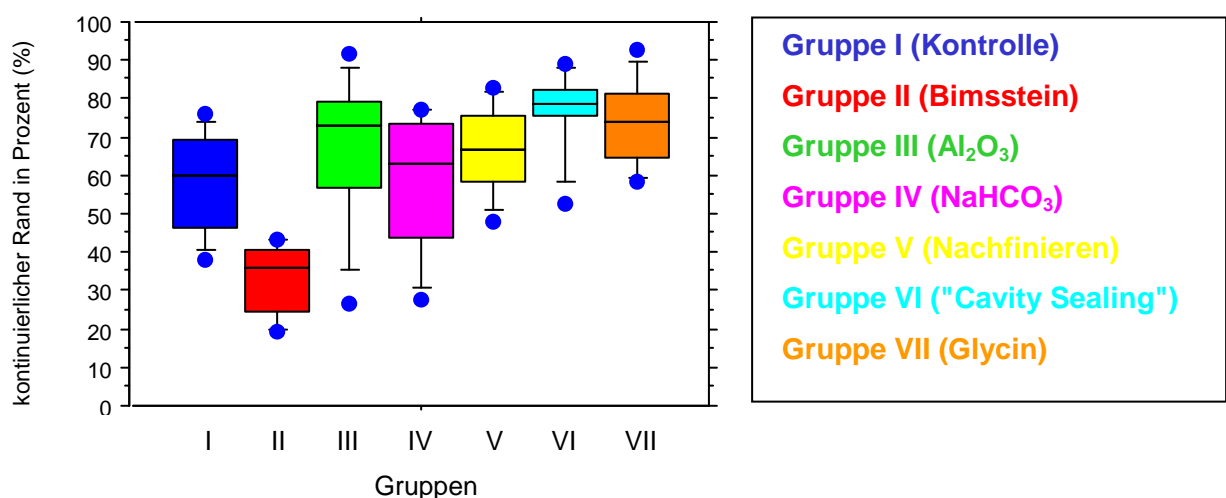


Abbildung 19 Box-Plot mit prozentualem Anteil an kontinuierlichem Rand in den Gruppen I-VII. Es gibt Ausreisser nach oben und Ausreisser nach unten.

Approximal-zervikale Stufe im Schmelz

Beim prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand im Untersuchungsabschnitt "cervical enamel" wurden keine signifikanten Unterschiede in den Versuchs-Gruppen beobachtet (siehe Tabelle 14 Seite 102).

Tabelle 4 Anteil an kontinuierlichem Rand in Prozent (%) (Mittelwert \pm Standardabweichung) im Untersuchungsabschnitt "cervical enamel" in den Gruppen I-VII.

Gruppe I (Kontrolle)	62.3 \pm 30.4
Gruppe II (Bimsstein)	51.3 \pm 38.4
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	78.1 \pm 35.3
Gruppe IV (NaHCO ₃)	79.5 \pm 35.5
Gruppe V (Nachfinieren)	72.2 \pm 24.1
Gruppe VI ("Cavity Sealing")	89.3 \pm 7.0
Gruppe VII (Glycin)	95.1 \pm 9.4

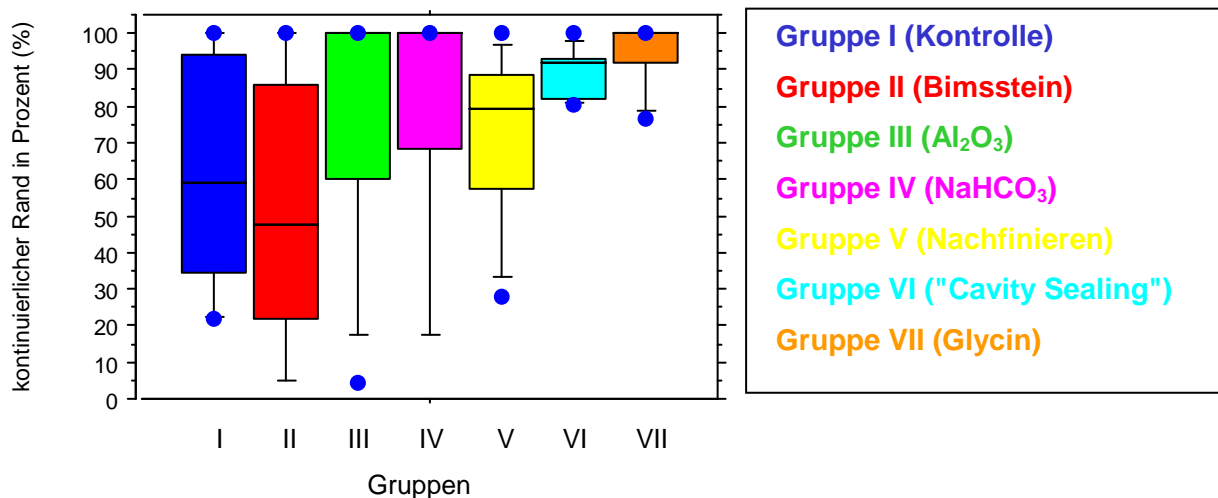


Abbildung 20 Box-Plot mit prozentualem Anteil an kontinuierlichem Rand im Untersuchungsabschnitt "cervical enamel" in den Gruppen I-VII. Es gibt Ausreisser nach oben und Ausreisser nach unten, sowie eine grosse Streuung in der Gruppe 2.

Approximal-zervikale Stufe im Dentin

Das schlechteste Ergebnis wurde in der Gruppe II mit 16 % kontinuierlichem Rand erreicht. Die Resultate in der Gruppe III (48 %; $p = 0.0006$) und der Gruppe VI (46.7 %; $p = 0.0009$) ergaben einen signifikant höheren Anteil an kontinuierlichem Rand (siehe Tabelle 15 Seite 103).

Tabelle 5 Anteil an kontinuierlichem Rand in Prozent (%) (Mittelwert \pm Standardabweichung) im Untersuchungsabschnitt "cervical dentin" in den Gruppen I-VII.

Gruppe I (Kontrolle)	23.3	\pm 11.6
Gruppe II (Bimsstein)	16.0	\pm 10.6
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	48.0	\pm 17.7
Gruppe IV (NaHCO ₃)	29.0	\pm 14.5
Gruppe V (Nachfinieren)	33.8	\pm 18.8
Gruppe VI ("Cavity Sealing")	46.7	\pm 17.8
Gruppe VII (Glycin)	33.6	\pm 26.1

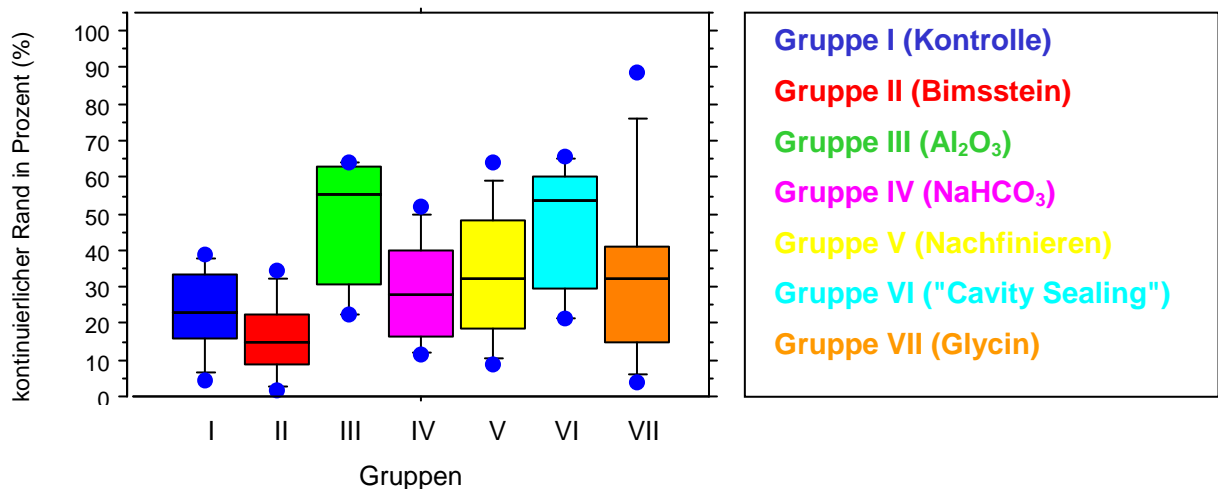


Abbildung 21 Box-Plot mit prozentuaalem Anteil an kontinuierlichem Rand im Untersuchungsabschnitt "cervical dentin" in den Gruppen I-VII. Es gibt Ausreisser nach oben und Ausreisser nach unten.

Approximal-axial im Dentin

Das schlechteste Ergebnis wurde in der Gruppe II mit 29 % kontinuierlichem Rand erreicht. Die Resultate in der Gruppe I (63.1 %; $p = 0.0001$), der Gruppe III (67.3 %; $p < 0.0001$), der Gruppe IV (60.9 %; $p = 0.0003$), der Gruppe V (68.7 %; $p < 0.0001$), der Gruppe VI (86.8 %; $p < 0.0001$) und der Gruppe VII (66.8 %; $p < 0.0001$) ergaben einen signifikant höheren Anteil an kontinuierlichem Rand (siehe Tabelle 16 Seite 103).

Tabelle 6 Anteil an kontinuierlichem Rand in Prozent (%) (Mittelwert \pm Standardabweichung) im Untersuchungsabschnitt "axial dentin" in den Gruppen I-VII.

Gruppe I (Kontrolle)	63.1	\pm	17.4
Gruppe II (Bimsstein)	29.0	\pm	13.2
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	67.3	\pm	19.3
Gruppe IV (NaHCO ₃)	60.9	\pm	16.9
Gruppe V (Nachfinieren)	68.7	\pm	12.7
Gruppe VI ("Cavity Sealing")	86.8	\pm	9.9
Gruppe VII (Glycin)	66.8	\pm	22.5

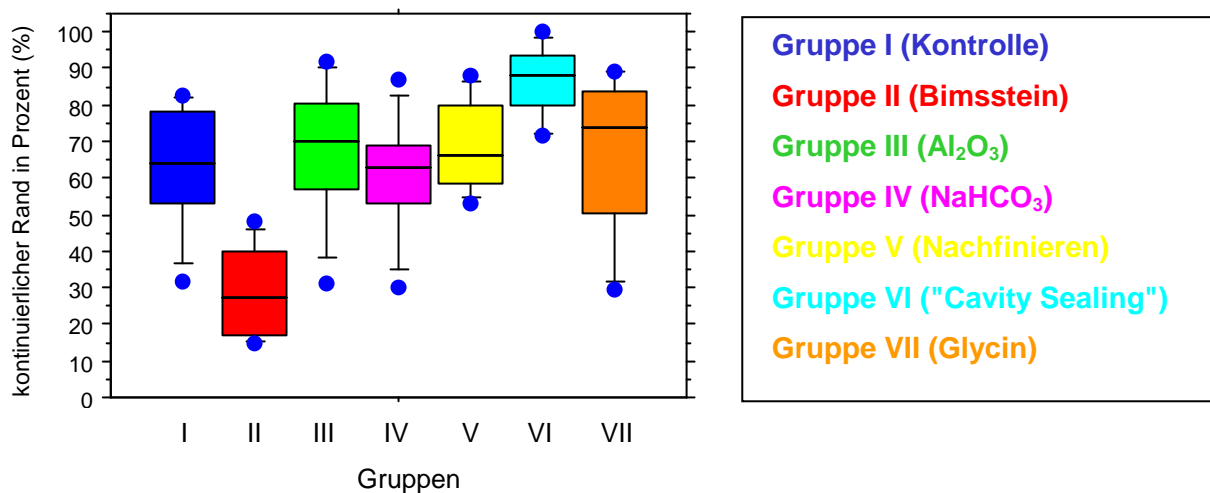


Abbildung 22 Box-Plot mit prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand im Untersuchungsabschnitt "axial dentin" in den Gruppen I-VII. Es gibt Ausreisser nach oben und Ausreisser nach unten.

Okklusaler Kavitätenboden

Das schlechteste Ergebnis wurde in der Gruppe II mit 41.3 % kontinuierlichem Rand erreicht. Die Resultate in der Gruppe V (77 %; $p = 0.0005$), der Gruppe VI (78.7 %; $p = 0.0003$) und der Gruppe VII (90.1 %; $p < 0.0001$) ergaben einen signifikant höheren Anteil an kontinuierlichem Rand (siehe Tabelle 17 Seite 104).

Tabelle 7 Anteil an kontinuierlichem Rand in Prozent (%) (Mittelwert \pm Standardabweichung) im Untersuchungsabschnitt "occlusal dentin" in den Gruppen I-VII.

Gruppe I (Kontrolle)	67.8	\pm	19.2
Gruppe II (Bimsstein)	41.3	\pm	16.1
Gruppe III (Al_2O_3)	72.1	\pm	24.8
Gruppe IV (NaHCO_3)	64.5	\pm	27.0
Gruppe V (Nachfinieren)	77.0	\pm	16.2
Gruppe VI ("Cavity Sealing")	78.7	\pm	17.5
Gruppe VII (Glycin)	90.1	\pm	7.3

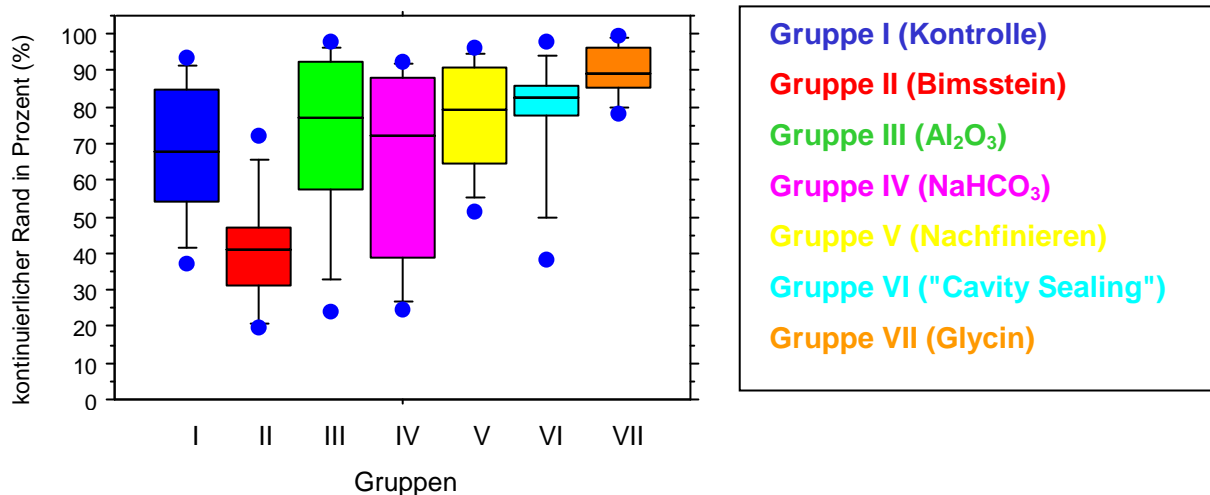


Abbildung 23 Box-Plot mit prozentuaalem Anteil an kontinuierlichem Rand im Untersuchungsabschnitt "occlusal dentin" in den Gruppen I-VII. Es gibt Ausreisser nach oben und Ausreisser nach unten.

Mikromorphologie in der Raster-Elektronen-Mikroskopie

Die Befunde bei der Datenauswertung der internen Adaptation im REM sind in Abbildung 24 bis Abbildung 27 dargestellt. Weitere Beispiele für die Mikromorphologie der im REM untersuchten internen Ränder sind im Anhang unter Abbildungen ersichtlich (siehe Seite 97).

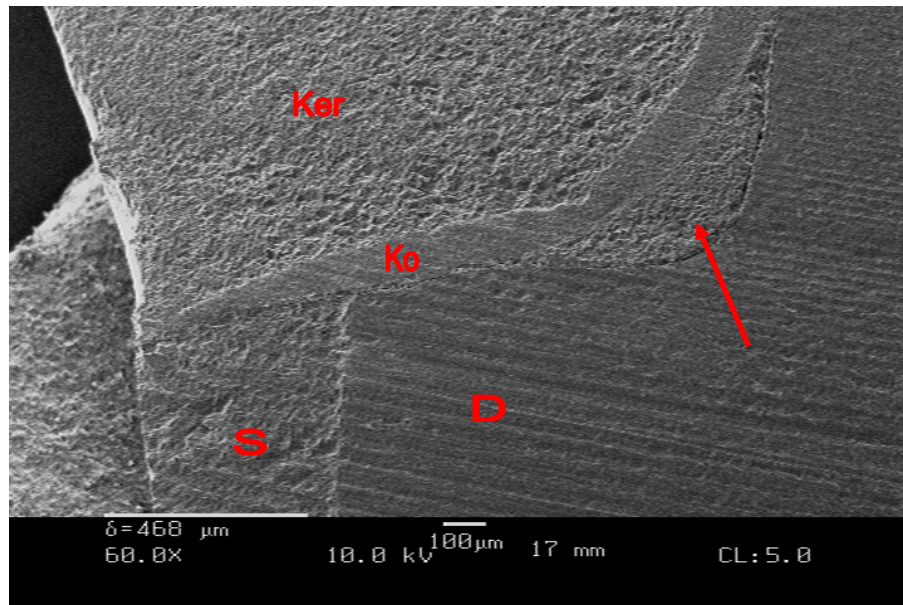


Abbildung 24 REM Bild der Schmelzstufe bei 60facher Vergrößerung mit Verdacht "Pooling" des Dentinadhäsivsystems an konkaver Stelle (roter Pfeil) und schlechter interner Adaptation nach Reinigung mit Bimsstein (Gruppe II, Versuchszahn 24 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

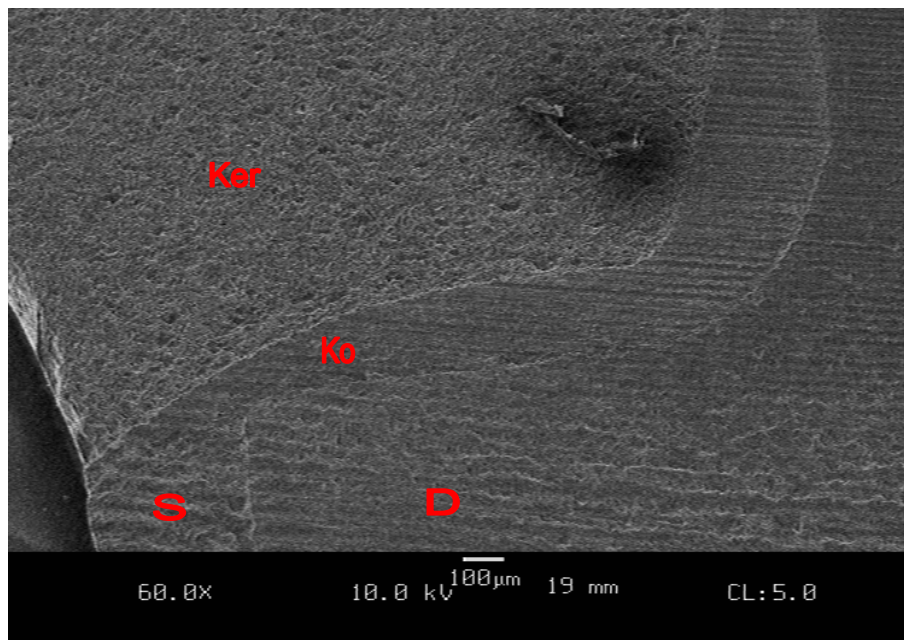


Abbildung 25 REM Bild der Schmelzstufe bei 60facher Vergrößerung mit guter interner Adaptation nach "Cavity Sealing" (Gruppe VI, Versuchszahn 62 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

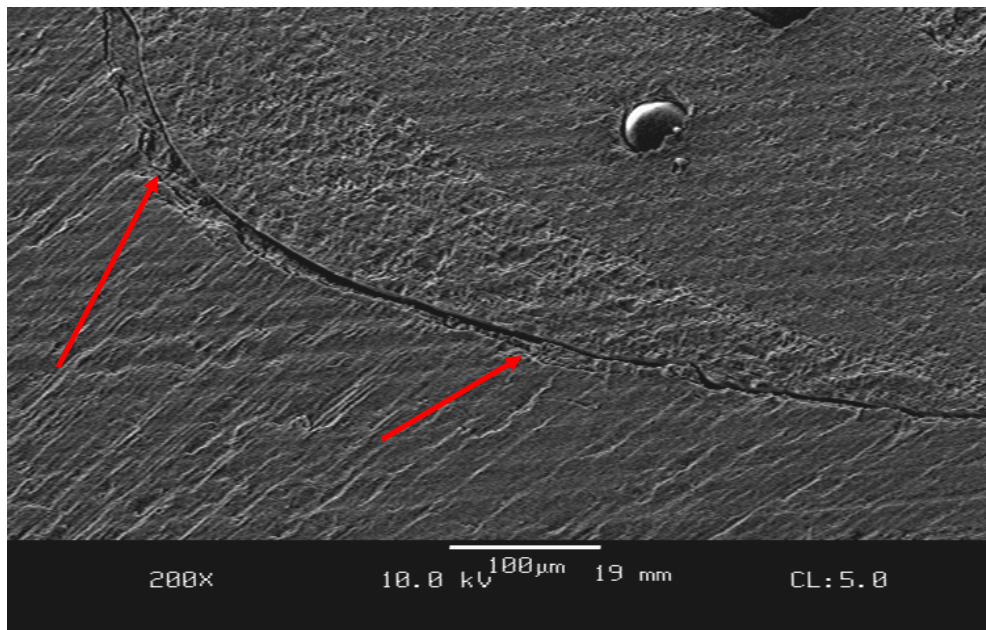
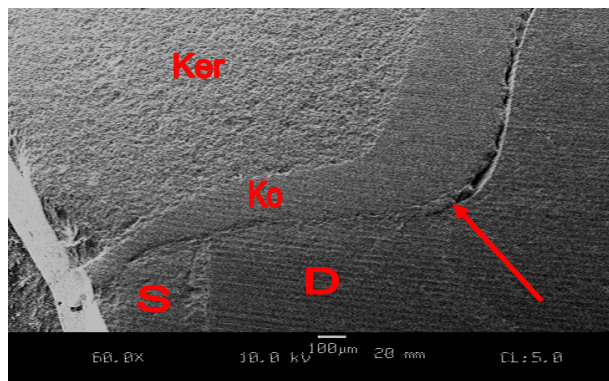
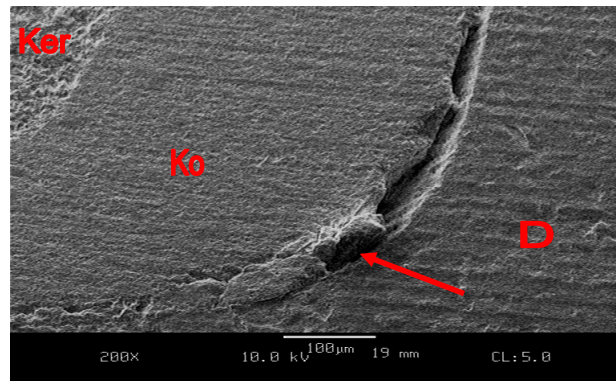


Abbildung 26 REM Bild des Überganges der axialen Wand zum Stufenboden bei 200facher Vergrößerung nach Reinigung mit Bimsstein. Verdacht auf Überreste des temporären Zementes und dadurch bedingten Randspalt (Gruppe II, Versuchszahn 27 (siehe **Tabelle 1** Seite 20))



a)



b)

Abbildung 27 REM Bild der approximal-zervikalen Stufe bei a) 60facher Vergrößerung und b) 200facher Vergrößerung nach Reinigung der Kavität durch Nachfinieren. Verdacht auf Überreste des temporären Zementes und dadurch bedingten Randspalt (Gruppe V, Versuchszahn 58 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

Konfokale Laser-Raster-Mikroskopie

Beim Vergleich der Grauwertanalyse für Fluorescein und Rhodamin B in den jeweiligen Messbereichen wurden keine signifikanten Unterschiede in den Versuchs-Gruppen beobachtet. Die Resultate sind auf Tabelle 12 (siehe Seite 101) dargestellt. Um einen besseren Vergleich der Resultate der REM- und CLSM-Untersuche zu ermöglichen, wurden die CLSM-Messungen entsprechend den Untersuchungsabschnitten im REM (Cervical Dentin, Axial Dentin und Occlusal Dentin) zusammengefasst.

Zervikale Dentinstufe

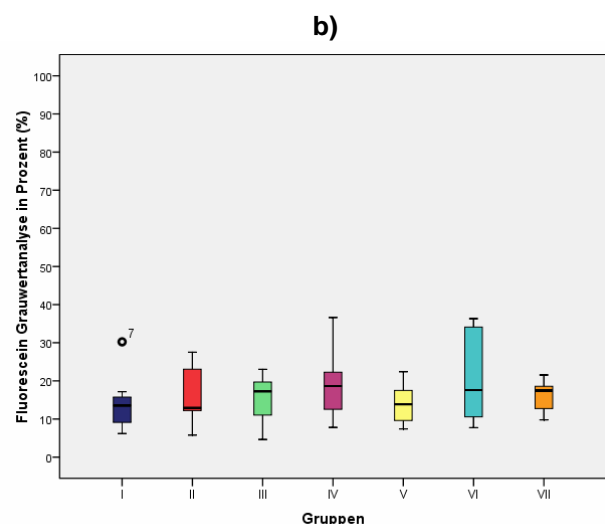
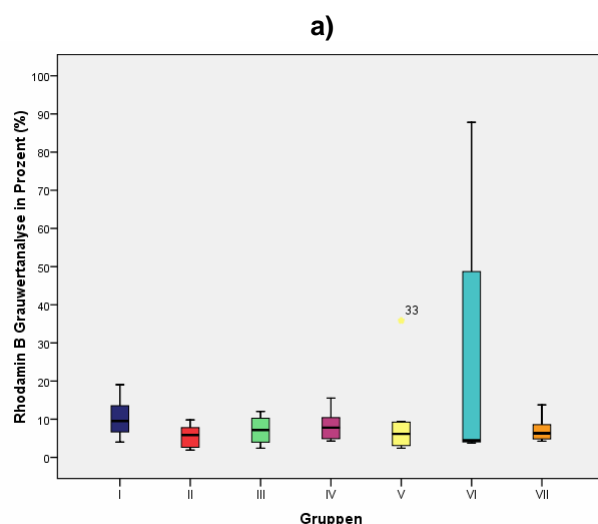
Es wurde der Mittelwert der vier Messungen im Bereich "Cervical Dentin" (1_StufeS, 2_Ü_Stufe, 7_Ü_Stufe, 8_StufeD) für Rhodamin B und Fluorescein berechnet und dieser auf signifikante Unterschiede in den Gruppen geprüft. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Versuchs-Gruppen beobachtet (siehe Tabelle 18 Seite 105).

Tabelle 8 Median und Interquartilsabstand (IQR) in Prozent (%) der **a)** Rhodamin B Messungen und **b)**

Fluorescein Messungen

	Median	IQR
Gruppe I (Kontrolle)	9.5	8.6
Gruppe II (Bimsstein)	5.8	5.3
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	7.2	7.0
Gruppe IV (NaHCO ₃)	7.8	6.6
Gruppe V (Nachfinieren)	6.2	6.4
Gruppe VI ("cavity sealing")	4.5	61.0
Gruppe VII (Glycin)	6.3	4.2

	Median	IQR
Gruppe I (Kontrolle)	13.5	8.6
Gruppe II (Bimsstein)	12.9	16.3
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	17.3	11.3
Gruppe IV (NaHCO ₃)	18.6	12.5
Gruppe V (Nachfinieren)	13.9	11.7
Gruppe VI ("cavity sealing")	17.6	24.8
Gruppe VII (Glycin)	17.4	8.0



a)

b)

Abbildung 28 Box-Plot mit der Grauwertanalyse (prozentuale Flächendeckung der Pixel in Grauwerten) der **a)** Rhodamin B Messungen und **b)** Fluorescein Messungen in den zu "Cervical Dentin" zusammengefassten Messbereichen der Gruppen I-IV. Es gab Ausreisser nach oben bei Probennummer 33 und 7, sowie eine grosse Streuung in Gruppe VI

Pulpoaxiale Dentinwand

Es wurde der Mittelwert der vier Messungen im Bereich "Axial Dentin" (2_Ü_Axial, 3_Axial, 6_Axial, 7_Ü_Axial) für Rhodamin B und Fluorescein berechnet und dieser auf signifikante Unterschiede in den Gruppen geprüft. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Versuchs-Gruppen beobachtet (siehe Tabelle 19 Seite 106).

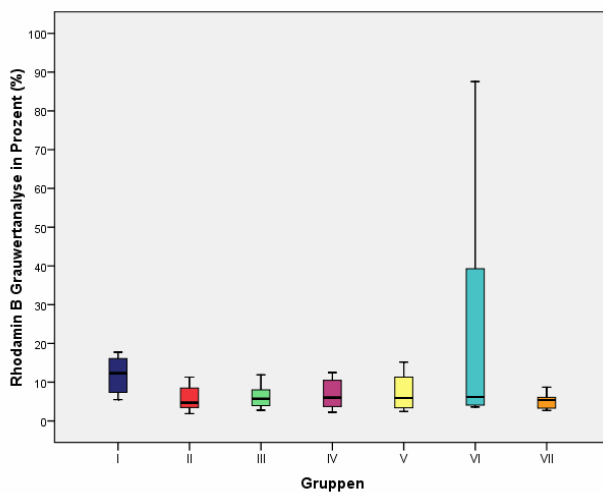
Tabelle 9 Median und Interquartilsabstand (IQR) in Prozent (%) der **a)** Rhodamin B Messungen und **b)** Fluorescein Messungen

	Median	IQR
Gruppe I (Kontrolle)	12.3	9.8
Gruppe II (Bimsstein)	4.7	5.3
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	5.7	5.4
Gruppe IV (NaHCO ₃)	6.0	8.1
Gruppe V (Nachfinieren)	5.9	9.9
Gruppe VI ("cavity sealing")	6.2	48.3
Gruppe VII (Glycin)	5.4	2.9

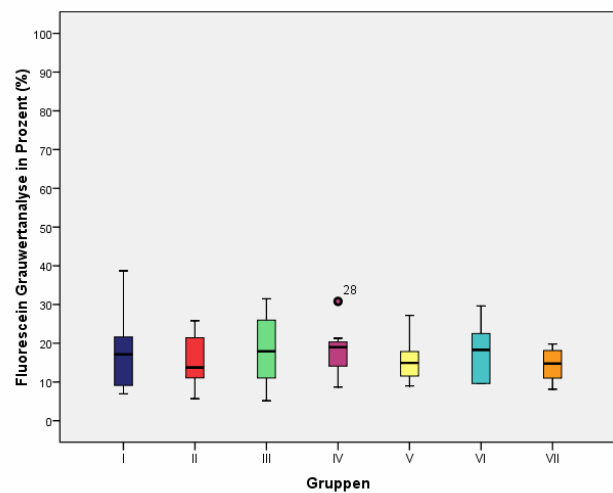
a)

	Median	IQR
Gruppe I (Kontrolle)	17.1	14.6
Gruppe II (Bimsstein)	13.7	15.2
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	17.9	16.8
Gruppe IV (NaHCO ₃)	19.0	8.7
Gruppe V (Nachfinieren)	14.9	9.2
Gruppe VI ("cavity sealing")	18.3	14.7
Gruppe VII (Glycin)	14.8	9.6

b)



a)



b)

Abbildung 29 Box-Plot mit der Grauwertanalyse (prozentuale Flächendeckung der Pixel in Grauwerten) der **a)** Rhodamin B Messungen und **b)** Fluorescein Messungen in den zu "Axial Dentin" zusammengefassten Messbereichen der Gruppen I-IV. Es gab einen Ausreisser nach oben bei Probennummer 28, sowie eine grosse Streuung in Gruppe 6.

Okklusaler Kavitätenboden

Es wurde der Mittelwert der zwei Messungen im Bereich "Occlusal Dentin" (4_Occlusal, 5_Occlusal) für Rhodamin B und Fluorescein berechnet und dieser auf signifikante Unterschiede in den Gruppen geprüft. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Versuchs-Gruppen beobachtet (siehe Tabelle 20 Seite 107).

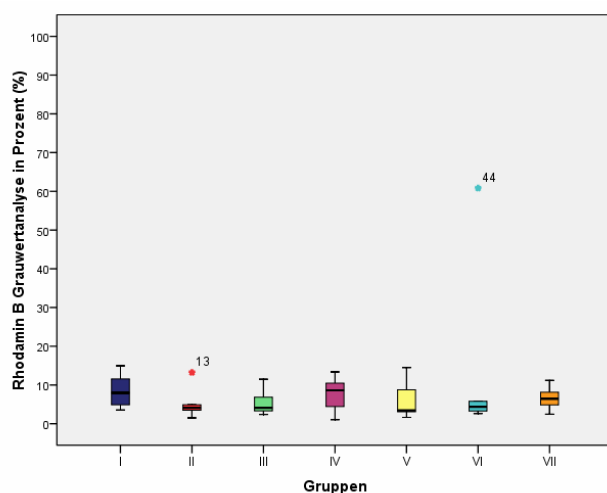
Tabelle 10 Median und Interquartilsabstand (IQR) in Prozent (%) der **a)** Rhodamin B Messungen **b)** Fluorescein Messungen

	Median	IQR
Gruppe I (Kontrolle)	8.0	7.4
Gruppe II (Bimsstein)	4.1	6.6
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	4.1	4.6
Gruppe IV (NaHCO ₃)	8.6	6.8
Gruppe V (Nachfinieren)	3.4	6.1
Gruppe VI ("cavity sealing")	4.4	16.5
Gruppe VII (Glycin)	6.4	5.0

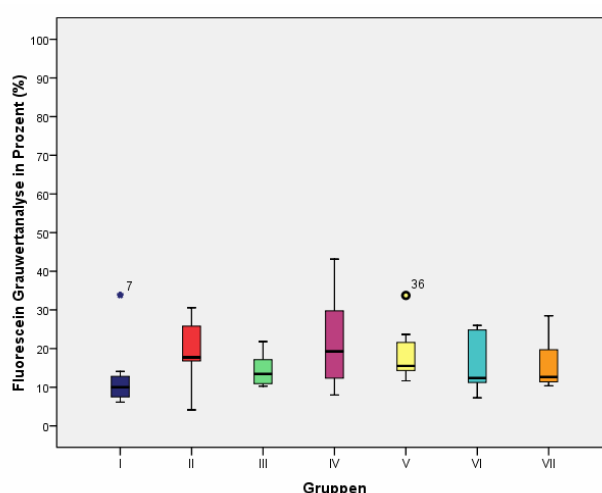
a)

	Median	IQR
Gruppe I (Kontrolle)	10.0	6.3
Gruppe II (Bimsstein)	17.7	17.7
Gruppe III (Al ₂ O ₃)	13.5	7.0
Gruppe IV (NaHCO ₃)	19.3	21.4
Gruppe V (Nachfinieren)	15.5	9.5
Gruppe VI ("cavity sealing")	12.4	14.9
Gruppe VII (Glycin)	12.6	10.8

b)



a)



b)

Abbildung 30 Box-Plot mit der Grauwertanalyse (prozentuale Flächendeckung der Pixel in Grauwerten) der **a)** Rhodamin B Messungen und **b)** Fluorescein Messungen in den zu "Occlusal Dentin" zusammengefassten Messbereichen der Gruppen I-IV. Es gab Ausreisser nach oben bei Probennummer 7, 13, 36 und 44.

Mikromorphologie in der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie (CLSM)

Die Befunde bei der Datenauswertung der Penetration des Adhäsivsystems im CLSM sind in Abbildung 32 bis Abbildung 34 dargestellt. Weitere Beispiele für die Mikromorphologie der im CLSM untersuchten internen Ränder sind im Anhang unter Abbildungen ersichtlich (siehe Seite 99).

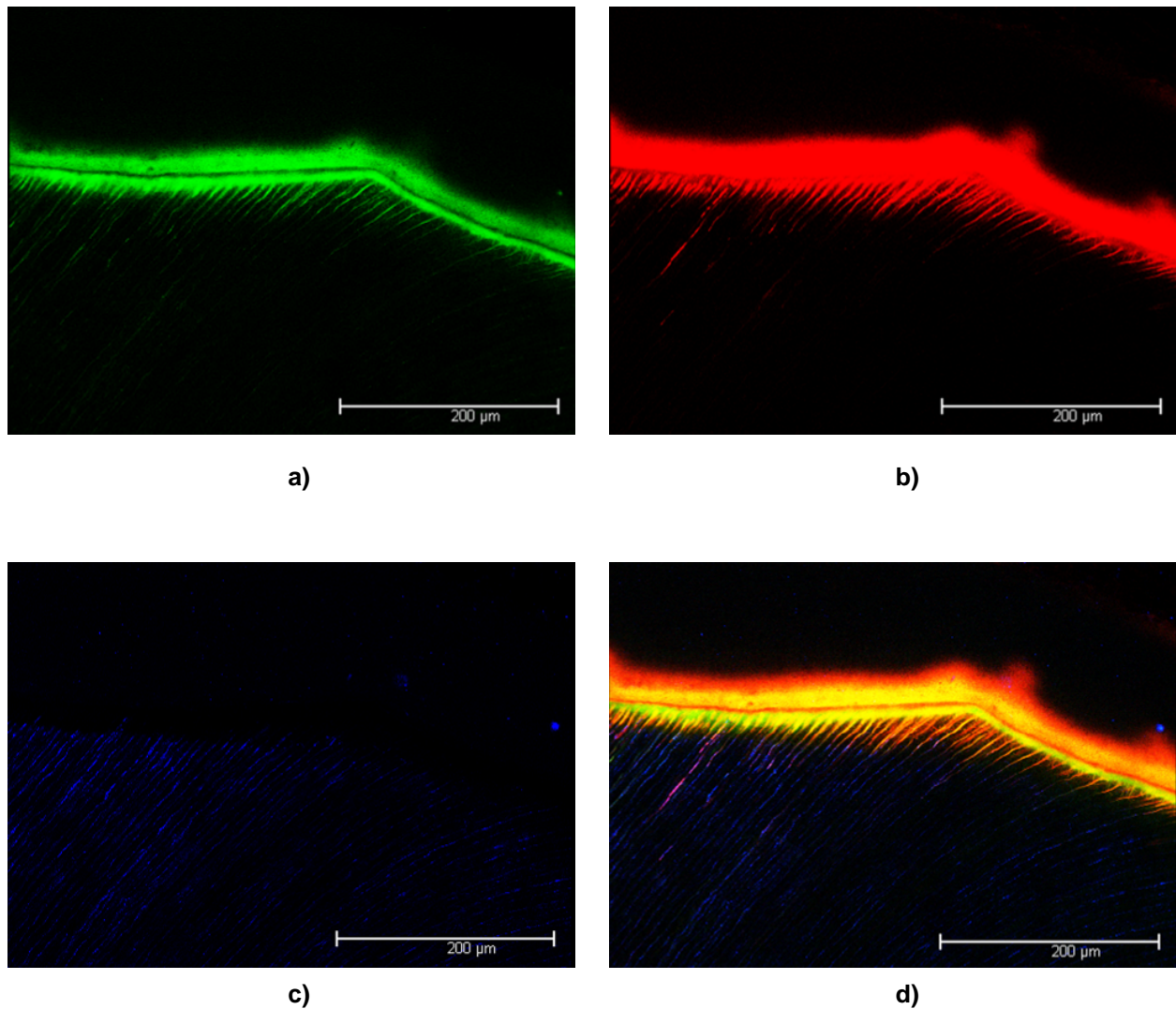


Abbildung 31 **a)** Emission des Fluoresceins im Bond **b)** Emission des Rhodamin B im Dentinadhäsiv **c)** Reflexion der Probe **d)** Überlagerung der Reflexion mit der Emission des Rhodamin B und des Fluoresceins. (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisation 1 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))

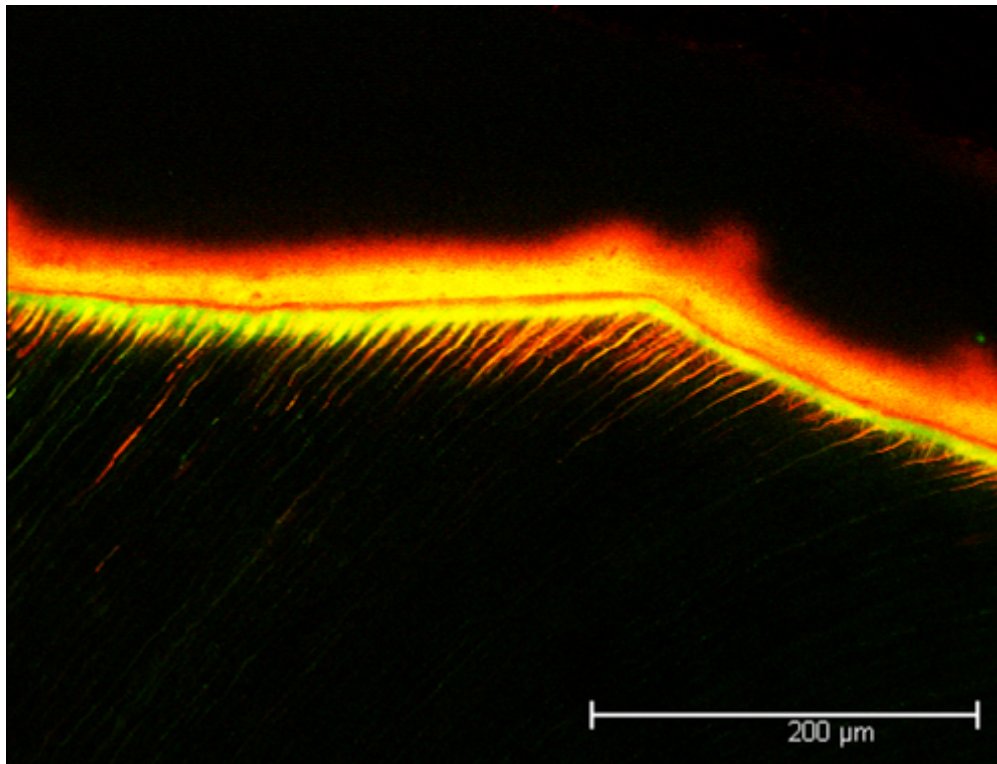


Abbildung 32 Überlagerungsaufnahme der Emission von Rhodamin B und Fluorescein. Sichtbare Infiltration des Haftvermittlers in das demineralisierte, intertubuläre Dentin ("resin tags") und Bildung eines Hybridlayers (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisation 1 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))

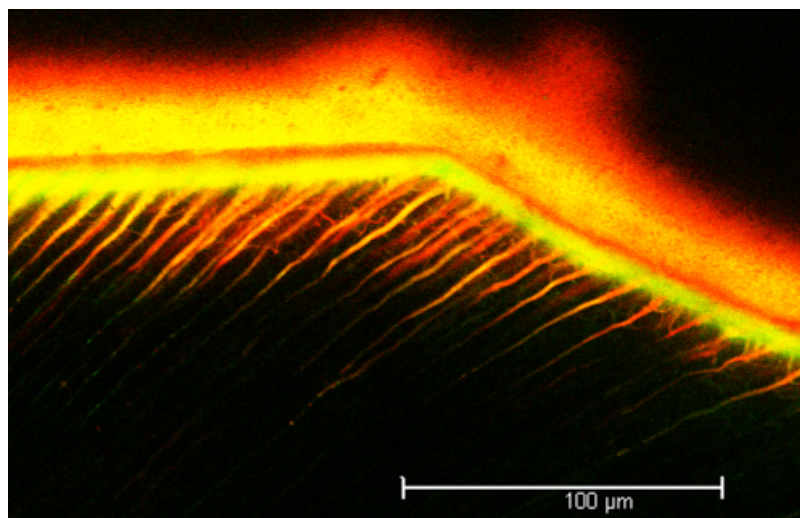


Abbildung 33 Überlagerungsaufnahme der Emission von Rhodamin B und Fluorescein. Sichtbares Netzwerk der Seitenäste der Dentintubuli und Anastomoisierung. (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisation 1 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))

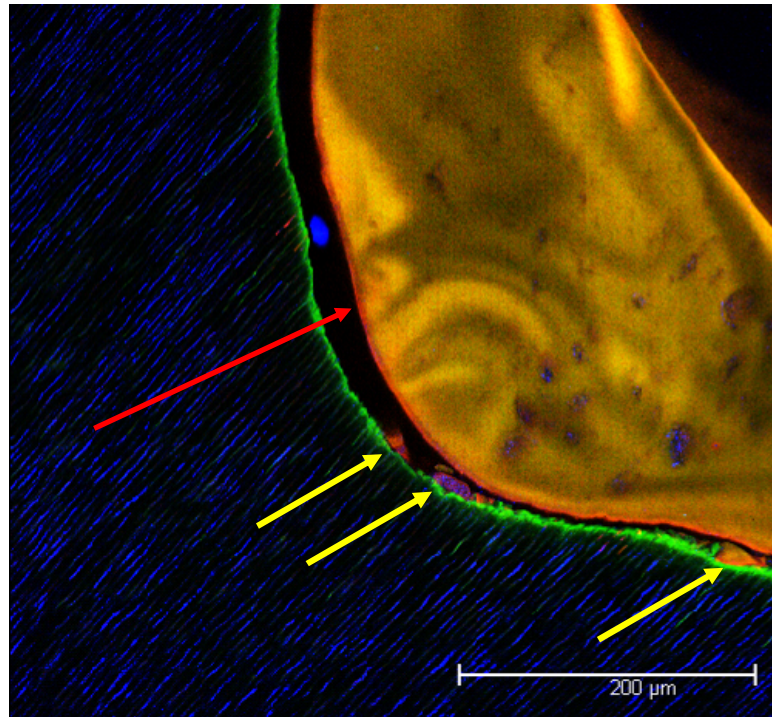


Abbildung 34 Überlagerung der Reflexion mit der Emission des Rhodamin B und des Fluoresceins. Sichtbares "Pooling" des Dentinadhäsivsystems an konkaver Stelle (roter Pfeil). Verdacht auf Überreste des temporären Zementes (gelbe Pfeile) nach Reinigung mit Bimsstein. (Gruppe II, Versuchszahn 25 (siehe **Tabelle 1** Seite 20), Aufnahmelokalisation 2 (siehe **Abbildung 15** Seite 38))

Diskussion

Im beschriebenen Versuch wurde ein statistisch signifikanter Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays gefunden. Weiter waren die Unterschiede in der internen Adaptation nach Anwendung unterschiedlicher Reinigungsprotokolle statistisch signifikant. Aus diesem Grund mussten beide Teile der zweiseitigen Nullhypothese verworfen werden.

Untersuchungsmethoden in In-vitro-Studien und deren Relevanz

Temporäre Zemente werden zur Fixierung einer provisorischen Versorgung bei Zähnen, welche eine indirekte, zweizeitige Restauration erhalten, benötigt. Zur Untersuchung des Einflusses einer durch die provisorische Versorgung verursachten Oberflächenkontamination auf die später zu etablierende Schmelzhafung und Dentinadhäsion sind In-vitro-Studien mit unterschiedlichen Untersuchungsmethoden durchgeführt worden.

Ziel dieser Studie sollte eine Untersuchungsmethode sein, welche es ermöglicht, nicht nur einen statistisch signifikanten Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die definitive Restauration zu finden, sondern auch die klinische Relevanz verschiedener Reinigungsprotokolle zu eruieren.

Scher- und Zugversuche

Die häufigste Untersuchung ist die Messung der Haftkräfte. So sind nachteilige Effekte einer provisorischen Versorgung auf die Schmelz- und Dentinhafung in Scher- oder Zugversuchen nachgewiesen worden (SCHWARTZ ET AL. 1992, TERATA ET AL. 1994, BERTSCHINGER ET AL. 1996, BACHMANN ET AL. 1997, WATANABE ET AL. 1997, GANSS & JUNG 1998, JUNG ET AL. 1998, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 1999, WATANABE ET AL. 1999, YAP ET AL. 2001, ABO-HAMAR ET AL. 2005, FONSECA ET AL. 2005, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 2006, FRANKENBERGER ET AL. 2007a, MAGNE ET AL. 2007, CHAIYABUTR & KOIS 2008).

Im typischen Test wurden das Adhäsivsystem und der Kunststoff auf extrahierten humanen oder bovinen Zähnen mit flacher Oberfläche getestet. Der dreidimensionalen Natur einer Kavitätenpräparation in vivo wird diese Labormethode nicht gerecht und unterschätzt den Effekt der Polymerisationsschrumpfung (FINGER 1988). Weiter werden häufig die Effekte des intrapulpalen Druckes und des Dentinliquors auf die Haftung nicht beachtet (SWIFT ET AL. 1995). Diese Labormethoden haben deshalb wenig direkte klinische Relevanz (SWIFT ET AL. 1995). Die vielverwendete Messung der Haftkräfte ist somit klinisch weitgehend irrelevant (SUDSANGIAM & VAN NOORT 1999) und erlaubt bestenfalls die Vorevaluation eines neuen Adhäsivsystems (BESEK ET AL. 2004).

Dichtigkeitsmessung ("Microleakage")

Eine weitere häufige Untersuchungsmethode in Studien ist die Dichtigkeitsmessung ("Microleakage") (WOODY & DAVIS 1992, CAGIDIACO ET AL. 1996, YAP ET AL. 2002, KOSAKA ET AL. 2005, SCHENKE ET AL. 2008). Die Dichtigkeitsmessung durch Einlegen in einen Farbstoff und Zersägen der restaurierten Zähne ermöglicht das Ablesen der Farbstoff-Penetration entlang einer Grenzfläche und stellt eine semiquantitative Messung dar (BESEK ET AL. 2004). Nachteil der Methode ist, dass keine Messungen vor und nach einer Belastung möglich sind und nur die Ebene des gewählten Schnittes möglich ist. In einer vergleichenden Studie wurde in vivo weniger "Microleakage" als in vitro gefunden (BARNES ET AL. 1993). Deshalb ist die Dichtigkeitsmessung als Untersuchungsmethode von fraglicher klinischer Relevanz.

Mikromorphologie: marginale und interne Adaptation

Bei Studien zur Analyse der Mikromorphologie wird neben der marginalen Adaptation (HANSEN & ASMUSSEN 1987, DIETSCHI & HERZFELD 1998, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 1999, PETERS ET AL. 2000, DIETSCHI ET AL. 2002b, FRANKENBERGER & TAY 2005, FRANKENBERGER ET AL. 2008) auch die interne Adaptation (DIETSCHI & HERZFELD 1998, DIETSCHI ET AL. 2002b, JAYASOORIYA ET AL. 2003a) untersucht.

Die Untersuchung der Mikromorphologie durch Replikaherstellung und Auswertung des Restaurationsrandes ermöglicht eine quantitative Messung. Es können sowohl Randbezirke untereinander verglichen, als auch die Randqualität beurteilt werden (BESEK ET AL. 2004). Die Untersuchung der marginalen Adaptation zeigt die Fähigkeit der Restaurationstechnik der Stressentwicklung während der Polymerisationsschrumpfung bei der Befestigung zu widerstehen. Die Beurteilung der marginalen Adaptation vor und nach mechanischer Belastung wie auch die interne Adaptation, sollen jedoch das Potential aufzeigen, welches die adhäsive Befestigung und das Bonding unter funktionellem Stress aufweisen (DIETSCHI ET AL. 2003). Die Qualität der externen marginalen Adaptation ist nicht repräsentativ für die gesamte interne Situation, da gewisse Artefakte die Beurteilung der marginalen Adaptation limitieren (DIETSCHI & HERZFELD 1998). Idealerweise wird eine doppelte Beurteilung sowohl der marginalen wie auch der internen Adaptation zur Beurteilung der Leistung der adhäsiven Restauration unter simulierten klinischen Konditionen durchgeführt (DIETSCHI & HERZFELD 1998). Wobei es bei der internen Adaptation wie bei der Messung des "Microleakage" nicht möglich ist Messungen vor und nach einer Belastung durchzuführen und nur die Ebene des gewählten Schnittes beurteilt werden kann.

Über die Herstellung von Schliffen kann die Grenzfläche Zahnhartsubstanz-Restaurationskomposit im CLSM nach Markierung von Adhäsivsystem-Komponenten semiquantitativ untersucht werden (BESEK ET AL. 2004). Es sind jedoch keine Messungen vor und nach einer Belastung möglich und es kann nur die Ebene des gewählten Schnittes beurteilt werden. Eine etwas tiefere Beurteilung der Mikromorphologie ist durch Fokusverlagerung möglich. Die Messungen in der Untersuchung sind semiquantitativ. Das CLSM liefert neue Information zur Morphologie der Kunststoff-Dentin-Verbindung und ermöglicht in Kombination mit Fluoreszenz-Farbstoffen eine sichtbare Unterscheidung von Komponenten eines Adhäsivsystems (D'SOUZA ET AL. 1999).

Es wurde deshalb die interne Adaptation untersucht. Die interne Adaptation wurde quantitativ rasterelektronenmikroskopisch beurteilt. Die Penetration des Adhäsivsystems in das Dentin wurde semiquantitativ mittels der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie untersucht.

Einfluss klinischer Faktoren

Um diese Tests in vitro den In-vivo-Konditionen anzunähern, wird die Imitation von klinisch relevanten Faktoren für Labortests als nötig angesehen (BERTSCHINGER ET AL. 1996). Es sollten im Versuch die physiologischen und klinischen Konditionen eines präparierten Zahnes simuliert werden. Weiter sollten die relevanten auf die Restaurationen in der Mundhöhle auftretenden Einflüsse simuliert und kombiniert werden.

Dentinliquor und intrapulpalen Druck

Die Imitation des intrapulpalen Druckes wird als wichtiger Faktor für Tests, welche in vitro am Dentin gemacht werden, gesehen (PASHLEY 1991, SWIFT ET AL. 1995, PAUL & SCHÄRER 1997b). Es kann der Grad an Feuchtigkeit am Dentin erzeugt werden, welchen man in vivo findet (PAUL & SCHÄRER 1997b).

Für Laborsimulationen wird weiter gefordert, den Effekt des Dentinliquors in Abhängigkeit der unterschiedlichen Dentintiefen (oberflächlich versus tief) und Position (okklusal versus proximal) zu untersuchen (PASHLEY 1991, PEREIRA ET AL. 1999). Weiter soll nicht an flachen Oberflächen, welche durch Abrasion mit Schleifpapier präpariert wurden, sondern an Kavitäten, welche mit Bohrern präpariert wurden, getestet werden (PASHLEY 1991). Der Durchmesser der Dentintubuli variiert abhängig vom Alter und ändert auch von der Oberfläche zur Pulpakammer. Dies führt zu einer Variation der Dentinhaftwerte innerhalb eines Zahnes, je nach Klebestelle (PASHLEY ET AL. 2002).

Thermomechanische Belastung

Die thermische und funktionelle mechanische Belastung sind zusätzliche Quellen für Stress auf die Restauration, welche zusätzlich das Risiko für ein adhäsives oder kohäsives Versagen erhöhen. Eine progressive Zunahme marginaler Defekte infolge mechanischer Belastung sowohl im Schmelz als auch im Dentin konnte nachgewiesen werden (DIETSCHI ET AL. 2003). In einer Studie, welche die marginale Adaptation von Keramikinlays untersuchte, wurde die Wichtigkeit eines Langzeit In-vitro-Tests, wie er hier durchgeführt wurde, zur Beurteilung der Stabilität der marginalen Adaptation aufgezeigt (KREJCI ET AL. 1993b). Bei initial exzellenter marginaler Adaptation kam es erst nach längerer simulierter thermomechanischer Belastung zu einer starken Abnahme der Kontinuität des Randes (KREJCI ET AL. 1993b). Eine alleinige thermische Wechselbelastung zur Evaluation keramischer Restaurationen wird als nicht adäquat gesehen (KREJCI ET AL. 1993b).

Eine Annäherung an die klinische Situation sollte wie von KREJCI ET AL. (1990) beschrieben, durch die Nachahmung der mechanischen Kaubelastungskomponenten unter gleichzeitiger Einbeziehung eines Wechseltemperaturzyklus im flüssigen Milieu erreicht werden. Dies wurde gewährleistet durch eine zusätzliche standardisierte thermomechanische Belastung der Restaurationen. Der gewählte In-vitro-Belastungstest stellt eine schnelle, klinisch relevante und präzise Methode zur Evaluation zahnärztlicher Restaurationsmaterialien und Techniken dar (KREJCI & LUTZ 1990).

Versuchsaufbau der Studie

Es wurde ein eugenol-freier Zement für die provisorische Versorgung gewählt, weil dieser aufgrund der kontroversen Datenlage bei prospektiver adhäsiver Befestigung empfohlen wird (PAUL & SCHÄRER 1997b). Ein Vergleich der Daten aus der Literatur betreffend des Einflusses von eugenol-haltigem Zement auf die spätere adhäsive Befestigung wird erschwert durch die unterschiedlichen verwendeten Adhäsivsysteme und provisorischen Materialien unter variablen Testbedingungen. Die Funktionsweise der einzelnen Adhäsivsysteme ist komplex und der Einfluss der Oberflächenkontamination nicht einfach zu bestimmen. Was aus den meisten Studien hervorgeht, ist, dass die Vorbehandlung mit einer provisorischen Versorgung (unabhängig davon ob eugenol-haltiger oder eugenol-freier Zement verwendet wurde) einen nachteiligen Effekt auf die spätere adhäsive Restauration hat (WATANABE ET AL. 1997).

Für die Dauer der provisorischen Phase wurden sieben Tage gewählt, wie auch in vielen anderen Studien (TERATA ET AL. 1994, GRASSO ET AL. 2002, DIETSCHI ET AL. 2003, FONSECA ET AL. 2005, PEUTZFELDT & ASMUSSEN 2006). Dies entspricht einer realistischen Zeitdauer für ein Provisorium im klinischen Alltag. Dort benötigt das zahntechnische Labor zur Fertigstellung des Werkstückes in der Regel 7 - 10 Tage. Nach sieben Tagen wurden die Provisorien entfernt und sechs unterschiedliche mechanische Reinigungsprotokolle angewendet. Diese wurden mit einer Kontrollgruppe, welche keine provisorische Versorgung erhielt, verglichen.

Viele Studien untersuchten den Einfluss temporärer Zemente auf die Schmelz- und Dentinhaftung, jedoch wenige unter physiologischen Bedingungen wie mit Dentinliquorsimulation. Deshalb wurde im Versuch die Dentinversiegelung jeweils unter Simulation sowohl des Dentinliquors als auch des intrapulpalen Druckes durchgeführt. Mit der Wahl des Inlays als Restauration konnte der Forderung von PASHLEY (1991) und PEREIRA ET AL. (1999) nach Testung an unterschiedlichen Lokalisationen im Zahn gerecht werden.

In der Studie wurde ein Mehrschritt-Adhäsivsystem verwendet. Die Verwendung von Mehrschritt-Adhäsivsystemen wird noch immer als vorteilhaftestes Bonding-System mit dem zuverlässigsten Langzeitüberleben gesehen (DE MUNCK ET AL. 2003, VAN MEERBEEK ET AL. 2003). Den Mehrschritt-Adhäsivsystemen ist bei der adhäsiven Eingliederung indirekter Restaurationen der Vorzug zu geben, auch wenn Techniksensitivität und Zeitaufwand gegenüber selbstätzenden Adhäsivsystemen erhöht sind (FRANKENBERGER 2009).

Die Versuchszähne wurden einer thermomechanischen Belastung ausgesetzt.

Mit dem gewählten Versuchsaufbau zur Beurteilung der internen Adaptation mittels dem REM konnte die interne Adaptation sowohl nach dem Einfluss der Kontraktionskräfte während der Polymerisation, als auch nach einer thermomechanischen Kaubelastung über die Zeit untersucht werden. Damit wurde, an klinische Verhältnisse angenähert, die Bestimmung des Einflusses einer provisorischen Versorgung auf die definitive Restauration möglich. Auch der Einfluss der unterschiedlichen Kavitätenreinigung auf die interne Adaptation konnte untersucht werden. Mit der CLSM konnte ergänzend die Penetration des Adhäsivsystems untersucht werden.

Ergebnisse der Raster-Elektronen-Mikroskopie

Unter den bei dieser Versuchsanordnung gewählten Testbedingungen konnte gezeigt werden, dass der Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays statistisch signifikant war. Auch die Unterschiede in der internen Adaptation nach Anwendung unterschiedlicher Reinigungsprotokolle waren statistisch signifikant. Es gab bei der Beurteilung der internen Adaptation Hinweise auf Überreste der provisorischen Versorgung (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27). SARAÇ ET AL. (2005) und WATANABE ET AL. (1997) konnten ebenfalls Überreste temporärer Zemente auf der Dentinoberfläche mittels des REM nachweisen.

Interne Adaptation über den gesamten inneren Füllungsrand

Nach Reinigung mit Bimsstein fand sich nur 33.1 ± 9.4 % an kontinuierlichem Rand über den gesamten inneren Füllungsrand. Dies war signifikant schlechter als die interne Adaptation der Kontrollgruppe wie auch der anderen Reinigungsprotokolle. Der prozentuale Anteil an kontinuierlichem Rand lag dort zwischen 58.1 ± 13.7 % Gruppe I (Kontrolle) bis 76.7 ± 11 % Gruppe VI ("Cavity Sealing").

Interne Adaptation im Schmelz

In dieser Studie wurde bei der internen Adaptation im Schmelz kein signifikanter Einfluss einer provisorischen Versorgung gefunden. Somit unterschieden sich die Versuchsgruppen nicht signifikant. Jedoch zeigte die Reinigung mit Bimsstein tendenziell die schlechteste interne Adaptation 51.3 ± 38.4 %. Der prozentuale Anteil an kontinuierlichem Rand im Schmelz lag zwischen 51.3 ± 38.4 % Gruppe II (Bimsstein) bis zu hohen 95.1 ± 9.4 % Gruppe VII (Glycin). Eine gute Adaptation im Schmelz wurde auch in anderen Studien bei Betrachtung der marginalen Adaptation nach thermomechanischer Belastung festgestellt (KREJCI ET AL. 1993b, KREJCI ET AL. 1994, PETERS ET AL. 2000).

Die mechanische Reinigung gefolgt von der Säureätzung mit 37 % Phosphorsäure wird als effektiv zur Entfernung von Zementresten auf dem Schmelz beschrieben (WOODY & DAVIS 1992, XIE ET AL. 1993, JUNG ET AL. 1998). Auch mikroskopisch wurde die Säureätzung mit 37 % Phosphorsäure in einer In-vitro-Studie von TERATA (1993) unter einem REM für den Schmelz als ausreichend bestätigt. In einer Studie von PETERS ET AL. (2000) konnte raster-elektronenmikroskopisch auch nach thermomechanischer Belastung keine Verschlechterung der marginale Adaptation im Schmelz festgestellt werden.

Ein negativer Effekt einer zusätzlichen Pulverstrahlung auf die interne Adaptation nach provisorischer Versorgung wurde in dieser Studie nicht gefunden. Kein negativer Effekt des Pulverstrahlens mit Aluminiumoxid auf die Schmelzhaftung ist ebenfalls von ROEDER ET AL. (1995), BORSATTO ET AL. (2002), MUJDECI & GOKAY (2004) und HALPERN & ROULEAU (2009) beschrieben. Jedoch sind diese Studien auf nicht mit temporärem Zement verunreinigtem Schmelz durchgeführt worden und eignen sich nur bedingt als Vergleich.

Interne Adaptation im Dentin

Es fanden sich unter den Versuchsgruppen signifikante Unterschiede in der internen Adaptation im Dentin. Die Mittelwerte des prozentualen Anteiles an kontinuierlichem Rand variieren über die Dentinabschnitte erheblich. Daraus wird die Wichtigkeit der Testung an verschiedenen Zahnpositionen und deren Einfluss auf die Resultate wie schon von PASHLEY (1991) empfohlen, ersichtlich.

Approximal-zervikale Stufe im Dentin

Es fanden sich approximal-zervikal im Dentin die schlechtesten Werte von nur $16 \pm 10.6 \%$ Gruppe II (Bimsstein) bis $48 \pm 17.7 \%$ Gruppe III (Aluminiumoxid). Als mögliche Ursache kann die der Reinigung schwieriger zugängliche Lokalisation vermutet werden. Jedoch wurden auch bei der Kontrollgruppe ohne provisorische Versorgung und mit direkter Versiegelung schlechtere Ergebnisse festgestellt. Dies kann auf die regionalen Unterschiede der Dentinpermeabilität zurückgeführt werden (PASHLEY ET AL. 2002). Der kontinuierliche Rand nach "Cavity Sealing" ($p = 0.0009$; $46.6 \pm 17.8 \%$) und die Reinigung mit 50- μm -Aluminiumoxidpulver ($p = 0.0006$; $48 \pm 17.7 \%$) führten zu signifikant höheren Anteilen an kontinuierlichem Rand auf der approximal-zervikalen Stufe im Dentin als die Reinigung mit Bimsstein ($16 \pm 10.6 \%$).

Approximal-axial im Dentin

Bimsstein eignet sich weiter nicht zur Reinigung der approximal-axialen Dentinfläche. Die Reinigung mit Bimsstein resultiert dort in einer signifikant schlechteren internen Adaptation ($29 \pm 13.2 \%$) verglichen mit den anderen Reinigungsprotokollen (zwischen $60.9 \pm 16.9 \%$ Gruppen IV (Natriumbicarbonat) bis $86.8 \pm 9.9 \%$ Gruppe VI ("Cavity Sealing")). In dieser Studie wurden mit einer Nachbarzahnsimulation (siehe Abbildung 5) die klinischen Verhältnisse bei der Reinigung nachgestellt. Das schlechte Resultat nach Reinigung mit Bimsstein zeigt die Schwierigkeit der Reinigung der approximal-axialen Dentinfläche mit einer Bürste unter klinischen Bedingungen. Das "Cavity Sealing", das Nachfinieren und das Pulverstrahlen verbesserten hier, bei der Reinigung schwierig zugänglichen Flächen, die interne Adaptation. Jedoch war kein Unterschied zwischen den verwendeten Pulvern festzustellen.

Okklusaler Kavitätenboden

Auch beim okklusalen Kavitätenboden resultierte das schlechteste Ergebnis der internen Adaptation nach Reinigung mit Bimsstein ($41.3 \pm 16.1 \%$). Signifikant besser waren das "Cavity Sealing" ($p = 0.0003$; $78.7 \pm 17.5 \%$), das Nachfinieren ($p = 0.0005$; $77 \pm 16.2 \%$) und das Pulverstrahlen mit Glycin ($p < 0.0001$; $90.1 \pm 7.3 \%$). Die Reinigung mit Bimsstein erzielte somit auch bei einer gut zugänglichen Fläche die schlechteste interne Adaptation.

Einfluss der Reinigungsprotokolle

Reinigung mit Bimsstein und Handinstrumenten

In einer früheren Studie fanden SCHWARTZ ET AL. (1992) nach Reinigung mit Bimsstein keinen negativen Einfluss einer Kontamination des Dentins mit temporärem Zement auf die Dentinhaftung. Es wurde auf flachen Dentinflächen getestet. Auch PEUTZFELDT & ASMUSSEN 2006 stellten nach Reinigung mit einem Metallspatel bei einem Scherversuch keinen negativen Einfluss von provisorischem (eugenol-haltigem) Zement auf das "bonding" von einem "etch and rinse" Adhäsivsystem und selbststützenden Adhäsiven auf Dentin fest. ABO-HAMAR ET AL. 2005 stellten nach Reinigung mit einem Excavator ebenfalls keinen negativen Effekt von temporären Zementen (eugenol-haltige und eugenol-freie) auf die Scherfestigkeit von adhäsiv befestigter Keramik fest. In beiden Studien wurde eine flache Dentinfläche ohne Dentinliquorsimulation untersucht. Eine flache Dentinfläche ist einfacher zu reinigen und entspricht nur bedingt einer klinischen Situation.

Die Dentinhaftung wird durch die Simulation des Dentinliquors beeinflusst (MITCHEM ET AL. 1988, TAO & PASHLEY 1989, PRATI ET AL. 1991, KREJCI ET AL. 1993a, HIRAISHI ET AL. 2009). Auch der Scherversuch ist eine Labormethode mit wenig direkter klinischer Relevanz (SWIFT ET AL. 1995). PEUTZFELDT & ASMUSSEN (2006) schlossen, dass bei Benutzung von Adhäsivsystemen, welche den "Smear Layer" im "Hybrid Layer" integrieren, jeder negative Effekt einer provisorischen Versorgung neutralisiert wird. Es wurde vermutet, dass die Phosphorsäure in "etch and rinse" Adhäsivsystemen oder die milde Säure in selbststützenden Adhäsivsystemen genügt, um effizient Überreste von temporären Zementen auf dem Dentin zu entfernen (PEUTZFELDT & ASMUSSEN 2006). Für eine klinische Situation, wie in dieser Studie simuliert, scheint dies jedoch nicht ausreichend zu sein. In Übereinstimmung mit dieser Studie, zeigten SARAÇ ET AL. (2005) ebenfalls, dass mit rotierenden Instrumenten, im Vergleich zu anderen Reinigungs-Detergentien, eine schlechtere Haftung zu erreichen ist. FONSECA ET AL. (2005) und CHAIYABUTR & KOIS (2008) fanden ebenfalls bei der Reinigung mit einem Pulverstrahlgerät und Aluminiumoxid-Pulver bessere Haftwerte am Dentin als nach Reinigung mittels Excavator und/oder Bimsstein.

Die Kavitätenreinigung mit Handinstrumenten und Bimsstein nach provisorischer Versorgung muss deshalb als insuffizient betrachtet werden, was mit den Resultaten unserer Studie übereinstimmt.

Nachfinieren der Kavität

PETERS ET AL. (2000) beschreiben das Nachfinieren der Kavität mit einem Diamant-Finierer als effektivste Methode zur Reinigung und Verbesserung der marginalen Adaptation einer Klasse-V-Kavität. Auch in dieser Studie zeigte das Nachfinieren der Kavität eine gute interne Adaptation an der approximal-axialen Dentinwand und auf dem okklusalen Kavitätenboden. Für die approximal-zervikale Stufe im Dentin wurden jedoch schlechtere Werte gemessen. Ein Grund für diesen Unterschied kann in der Reinigung der schwierig zugänglichen Dentinstufe liegen. Aber gegebenenfalls auch durch eine breitere Kompositfuge bedingt sein.

Durch den Substanzverlust beim Nachfinieren kann der Erhalt der Passgenauigkeit der Werkstücke nicht gewährleistet werden. Das Nachfinieren als Reinigungsprotokoll für indirekte, zweizeitige Restaurationen kann für die Klinik daher nicht als Methode der Wahl empfohlen werden.

Pulverstrahlen

Die Reinigung mit Pulverstrahlgeräten resultierte in einer besseren internen Adaptation und war der Reinigung mit Bimsstein signifikant überlegen. Auch FONSECA ET AL. (2005) und CHAIYABUTR & KOIS (2008) fanden nach Reinigung mit einem Pulverstrahlgerät und Aluminiumoxid-Pulver bessere Haftwerte am Dentin als nach Reinigung mittels Excavator und/oder Bimsstein.

PETERSILKA ET AL. (2003) stellten als erstes ein Glycin-Pulver vor und konnte nachweisen, dass die Abrasivität von Glycin-Pulver im Vergleich zu Natriumbicarbonat wesentlich geringer ist, aber auch effektiv zur Plaqueentfernung. FRANKENBERGER ET AL. (2007a) untersuchten das Glycin-Pulver und fand eine bessere Haftung nach Entfernung von Zementresten mit einem Pulverstrahlgerät mit Glycin verglichen mit Natriumbicarbonat. Pulverstrahlen mit Calciumcarbonat vor der adhäsiven Befestigung sollte vermieden werden (FRANKENBERGER ET AL. 2007b). FRANKENBERGER ET AL. (2007b) schlagen die Verwendung von Glycin in einem Pulverstrahlgerät als Alternative, welche keinen negativen Einfluss auf die Dentinhaftung hat, vor. In dieser Studie fanden sich keine signifikanten Unterschiede unter den verschiedenen Reinigungs-Pulvern. Jedoch ist bei der Verwendung von Pulverstrahlgeräten bei Änderung von Parametern wie Kippwinkel der Düse, Abstand zum Zahn und Luftdruck ein Einfluss auf die Haftung nicht auszuschliessen (GRAY ET AL. 2006). Da in unserem Versuchsaufbau nicht an flachen Dentinflächen getestet wurde, wurden diese Parameter, wie klinisch ebenfalls nicht möglich, nicht standardisiert.

Das Reinigungsprotokoll mit Natriumbicarbonat-Pulver wies an allen Lokalisationen schlechtere Werte auf als das Glycin- und das Al_2O_3 -Pulver. Glycin, das als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen ist (*Zusatzstoffverordnung, ZuV* 2005), kann auch aufgrund seiner gesundheitlichen Unbedenklichkeit als Alternative zu anderen Reinigungspulvern gesehen werden.

"Cavity Sealing"

Das "Cavity Sealing" wies als einziges Reinigungsprotokoll an allen untersuchten Dentinabschnitten eine signifikant bessere interne Adaptation auf, als die konventionelle Reinigung mit Bimsstein. Das "Cavity Sealing" zeigte über den gesamten inneren Füllungsrand mit $76.7 \pm 11 \%$ den grössten prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand.

MAGNE ET AL. (2005) zeigten ebenfalls eine signifikant erniedrigte Klebefestigkeit wenn das Dentin erst vor dem definitiven Einsetzen der Restauration versiegelt wurde. Dies stellt die von den meisten Klinikern verwendete Methode dar (MAGNE ET AL. 2005). Die Kontamination des Dentins mit temporären Zementen setzt die exzellente Dentinadhäsion aufs Spiel (FRANKENBERGER ET AL. 2007a). Aus diesem Grund ist die immediate Dentinversiegelung erfolgversprechend (FRANKENBERGER ET AL. 2007a). DIETSCHI & HERZFELD (1998) wiesen nach, dass die "Dual Bonding" Technik ein besseres Potential für eine spaltfreie interne wie auch marginale Adaptation nach thermischer und mechanischer Belastung zeigt. Der vermutete negative Effekt auf die Haftung bei Verwendung eines eugenol-haltigen Zementes konnten nach einer Dentinversiegelung direkt nach der Präparation nicht festgestellt werden (BERTSCHINGER ET AL. 1996). Das Aufbringen des Dentinadhäsives vor einer Abformung und vor der provisorischen Versorgung verhindert, dass temporäre Zemente in das oberflächliche Dentin eindringen und mit dem späteren Bonding interagieren (LATTA ET AL. 2005).

Bei der direkten adhäsiven Versiegelung der Dentinwunde mit "Immediate Dentin Sealing" oder "Resin Coating" wurde in anderen Studien eine Verringerung von Randspalten, (DIETSCHI & HERZFELD 1998, MAGNE & DOUGLAS 1999, JAYASOORIYA ET AL. 2003a, KOSAKA ET AL. 2005, SCHENKE ET AL. 2008), eine Erhöhung der Haftfestigkeit (JAYASOORIYA ET AL. 2003b, OZTURK & AYKENT 2003, MAGNE ET AL. 2005, ISLAM ET AL. 2006, MAGNE ET AL. 2007) und eine säureresistente Abdichtung (GÖHRING ET AL. 2004) festgestellt. Weiter wurde klinisch der Komfort für den Patienten durch eine Reduktion der postoperativen Hypersensibilität und durch die geringere Notwendigkeit für eine Anästhesie während der definitiven Insertion gesteigert (CAGIDIACO ET AL. 1996, LATTA ET AL. 2005).

Die Passgenauigkeit der Abformung und des Werkstückes wird dabei nicht beeinflusst. Es wird kein Ätzmuster auf dem Schmelz produziert, was eine einfache Entfernung des Bondings vom Schmelz möglich macht (PAUL & SCHÄRER 1997a). Um überschüssiges Adhäsiv auf dem Schmelz zu entfernen und einen idealen Präparationsrand sicherzustellen, wird das Nachfinieren der Schmelzränder vor der Abformung empfohlen (MAGNE 2005). Dadurch, dass das Adhäsivsystem vor der Abformung angewendet und gehärtet wird, können eventuelle Passungenauigkeiten durch ein allfälliges "Pooling" des Adhäsives vor dem Einsetzen

vermieden werden (MAGNE ET AL. 2005). Erst nach dem Nachfinieren der Schmelzränder erfolgt eine Abformung und provisorische Versorgung.

In dieser Studie wurde ein additionsvernetzendes Silikon-Abformmaterial verwendet und die sauerstoffinhibierte Schicht mit Alkohol und einem Polyurethanschaumstoffpellet entfernt. Es wurde kein sichtbarer Einfluss der Dentinversiegelung auf die Abformung festgestellt.

Bedenken betreffend der Kompatibilität von Abformmaterialien mit der versiegelten Dentinfläche sind vermutet worden (BERTSCHINGER ET AL. 1996). ZELLWEGER (1997) fand keinen negativen Einfluss auf die Qualität der Abformung wenn ein Polyether-Abformmaterial oder ein additionsvernetzendes Silikon-Abformmaterialien gebraucht wurden. MAGNE & NIELSEN (2009) raten von der Verwendung eines Abformmaterials auf Polyetherbasis ab. Freie Radikale und Photoinitiatoren in der Versiegelung können eventuell bei der Verwendung von metacrylatbasierten, provisorischen Materialien aufgebraucht werden und die Entfernung des Provisoriums erschweren, wie auch die Haftung der definitiven Restauration beeinträchtigen. BERTSCHINGER et al. (1996) beschreiben die Problematik, dass ein Provisorium wie Fermit (enthält ein Diacrylat) gut an das Bonding des Dentins haftete und die Entfernung schwierig war sowie eine Reduktion der Scherfestigkeit nach sich zog. Bei der Herstellung des Provisoriums wird eine gute Isolation empfohlen und die Herstellung von Provisorien auf Kunststoffbasis sollte gemieden werden (MAGNE ET AL. 2007). Eine Empfehlung für ein alternatives Material für die provisorische Versorgung wird nicht genannt. Eine sauerstoffinhibierte Schicht sollte vermieden werden, um eine potentielle Interaktion mit einem Abformmaterial oder mit dem Provisorium zu verhindern (STAVRIDAKIS ET AL. 2005, MAGNE & NIELSEN 2009) und eine Reinigung mit Bimsstein vor der Abdrucknahme wird in Kombination mit dem IDS empfohlen (MAGNE & NIELSEN 2009).

Auch wenn ZELLWEGER (1997) keine klinisch relevanten Interaktionen zwischen Dentinadhäsiv und Abformmaterial fand, muss wie MAGNE & NIELSEN (2009) zeigten, die Kompatibilität des Adhäsivsystems mit dem Abformmaterial untersucht werden.

Vor der Insertion des Inlays wurde die Kavität mit Bimsstein gereinigt und die Dentinstufe nachfiniert.

Es stellte sich die Frage, ob eine Versiegelung nach der Entfernung des Provisoriums und nach der Reinigung der Kavität noch ausreichend ist. Die Filmdicke einer vorgehärteten Adhäsivschicht liegt zwischen 60-350 µm (PASHLEY ET AL. 1992). Die Filmdicke ist abhängig vom verwendeten Produkt und der Lokalisation am Zahn STAVRIDAKIS ET AL. (2005). Das Dentin wurde mit Syntac Classic versiegelt, welches in einer Studie von (STAVRIDAKIS ET AL. 2005) eine dickere Dentinbondingschicht aufwies als ein anderes getestetes Adhäsivsystem (OptiBond FL, Kerr). Da die Filmdicke bei der Reinigung reduziert wird, ist eine dickere Dentinbondingschicht vielleicht von Vorteil. Die Filmdicke wird bei der späteren Reinigung zwar

reduziert, aber nicht ganz entfernt (STAVRIDAKIS ET AL. 2005). Nach einer provisorischen Versorgung wird die Reinigung mit Pulverstrahl-Abrasion (MAGNE 2005), Bimsstein (BERTSCHINGER ET AL. 1996, MAGNE & DOUGLAS 1999) oder dem niedrigtourigen Anrauchen mit einem grobkörnigen rotierenden Diamanten (MAGNE 2005) empfohlen, um das Bonding an die Dentinversiegelung zu fördern. Es ist kein Unterschied in der Dentinbondingdicke nach Reinigung mit Pulverstrahlgerät oder Bimsstein bekannt (STAVRIDAKIS ET AL. 2005).

In dieser Studie wurde mit dem "Cavity Sealing" eine gute interne Adaptation auch nach einer siebentägigen Dauer der provisorischen Versorgung festgestellt.

Die Dentinhaftung mit einer immediaten Dentinversiegelung wurde auch durch eine zwölfwöchige Dauer der provisorischen Phase nicht beeinflusst (MAGNE ET AL. 2007). Dies wird auf die Erkenntnis zurückgeführt, dass eine sauerstoffinhibierte Schicht nicht notwendig für das Bonding von Kompositschichten ist und noch vorhandene freie Radikale und Photoinitiatoren für das Bonding verantwortlich sind (KUPIEC & BARKMEIER 1996, SUH 2004, PAPACCHINI ET AL. 2007).

Das frisch präparierte Dentin vor der Kontamination mit temporären Zementen ist das ideale Substrat für die Dentinversiegelung (PAUL & SCHÄRER 1997b). Als Vorteile der immediaten Dentinversiegelung werden in Studien die Reduktion der bakteriellen Kontamination und der Zahnsensitivität während der provisorischen Phase und das Potential für ein besseres Bonding der Restauration an das Dentin genannt (SWIFT 2009). Durch die immediate Dentinversiegelung kann auch auf die Notwendigkeit einer Anästhesie bei der Abgabe verzichtet werden (SWIFT 2009) und somit das Einschleifen der Okklusion erleichtert werden (MAGNE ET AL. 2007). Mit der Versiegelung können gleichzeitig zusätzliche Anforderungen an eine Präparation erfüllt werden. So können unterminierende Höcker verstärkt, Unterschnitte aufgefüllt und die notwendige Geometrie für eine Einlagerrestauration geschaffen werden.

Ergebnisse der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie

Die verwendeten Fluorochrome Rhodamin B und Fluorescein sind bereits in anderen Studien beschrieben worden (WATSON 1989, SCHÜPBACH ET AL. 1997, WATSON 1997). Auch das Markieren des verwendeten Adhäsivsystems (Syntac) mit diesen Fluorochromen ist untersucht worden (WATSON & WILMOT 1992, STAHEL 2001).

STAHEL (2001) wies mittels CLSM nach, dass die Kontamination einer frisch präparierten Dentinoberfläche mit einem provisorischen Zement die Penetrationsfähigkeit eines Dentinadhäsives im Dentin auf morphologischer Ebene statistisch signifikant reduziert. Wobei von untergeordneter Bedeutung zu sein scheint, ob der provisorische Zement eugenol-haltig oder eugenol-frei ist (STAHEL 2001).

In dieser Studie wurde beim Vergleich der Grauwertanalyse für Fluorescein und Rhodamin B in den jeweiligen Messbereichen kein signifikanter Unterschied in den Versuchs-Gruppen beobachtet. Somit konnte mittels CLSM kein statistisch signifikanter morphologischer Unterschied im Penetrationsverhalten von Dentinadhäsiv und Dentinbond unter verschiedenen Vorbehandlungen nachgewiesen werden. Eine Korrelation mit Ergebnissen aus der REM-Analyse war nicht möglich.

Ein möglicher Grund ist die variable und komplexe Struktur des Dentins. Es fanden sich grosse lokalisationsabhängige Unterschiede bezüglich Penetration und Schichtbildung des markierten Dentinadhäsives wie schon von STAHEL (2001) beschrieben. Dentin hat eine variable und komplexe Zusammensetzung, abhängig von der Distanz zur Pulpa, der Anwesenheit von Dentinliquor und des "Smear Layer" (D'SOUZA ET AL. 1999). In Übereinstimmung mit STAHEL (2001) wurden häufig fast parallel verlaufende Tubuli verbunden mit ausgeprägter morphologischer Variabilität (Dichte, Durchmesser, Richtung der Tubuli) auf dem Stufenrand im Dentin gefunden. Die Restdentindicke hat einen Einfluss auf die Penetration des Adhäsivsystems (WATSON & WILMOT 1992). Wie bereits von SCHÜPBACH ET AL. (1997) beschrieben, wurden strukturell unterschiedliche "Hybrid Layer", je nach Orientierung der Dentintubuli und bei sklerotischem Dentin gefunden. Die Orientierung der Dentintubuli hat einen Effekt auf die tiefe der Demineralisation und damit auf die Penetration des Adhäsivsystems (SCHÜPBACH ET AL. 1997).

STAHEL (2001) konnte den Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die Penetrationsfähigkeit des Adhäsivsystems nachweisen, da er diese "Confounder", durch den Vergleich von spiegelbildlichen Lokalisationen halbiertter Zahnhälften, eliminierte. Bei diesem Versuchsaufbau konnte STAHEL (2001) keinen intrapulpalen Druck simulieren. PIOCH ET AL. (2001) fanden mit dem CLSM eine deutlich geringere Penetration des Adhäsivsystems unter Simulation des intrapulpalen Druckes. Auch war der Einfluss der Simulation des intrapulpalen

Druckes lokalisationsabhängig (PIOCH ET AL. 2001). "Resin tags", welche in vivo gebildet werden, sind wahrscheinlich kürzer als "resin tags", welche an extrahierten Zähnen gefunden werden, da die Dentintubuli mit Liquor gefüllt sind und die Kunststoffpenetration reduzieren (SWIFT ET AL. 1995).

Ein idealer Versuchsaufbau für eine experimentelle semiquantitative Auswertung der Mikromorphologie mit der CLSM ist deshalb schwierig. Es gibt weiter bis heute keine Evidenz, dass die Dicke des Hybridlayers linear assoziiert ist mit besseren Haftwerten (PIOCH ET AL. 1997). Auch die Länge der "resin tags" können nur zu einer besseren Haftung beitragen, wenn der Kunststoff an der Wand der Dentintubuli haftet (SCHÜPBACH ET AL. 1997). Das Netzwerk von Anastomosen unter Dentintubuli durch Seitenäste (siehe Abbildung 33) wird als potentieller Faktor für eine Steigerung der Dentinhaftung vermutet (CHAPPELL ET AL. 1994). Eine Quantifizierung der mittels CLSM gewonnen Resultate ist nicht möglich. Deshalb eignet sich eine semiquantitative CLSM-Untersuchung nur bedingt zur Extrapolation auf die Haftfestigkeit und zum Vergleich mit der internen Adaptation.

Die CLSM angewendet mit markierten Haftvermittlern ist eine relativ neue Untersuchungstechnik. Bei einem Vergleich der Darstellung der Dentin-Kunststoff-Verbundzone mit dem REM und im CLSM fanden D'SOUZA ET AL. (1999) eine sehr gute Übereinstimmung der Strukturen mit Vorteilen für die CLSM-Darstellung wegen geringerer Anfälligkeit für Artefakte. PIOCH ET AL. (1997) raten zu Vorsicht in der Interpretation der Bilder, da ein allfälliges Auswaschen der Fluoreszenz-Farbstoffe nicht ausgeschlossen werden kann. Trotzdem liefert die CLSM neue Informationen bezüglich der "Bonding"-Morphologie und sollte deshalb als ergänzende Methode zu konventionellen Methoden wie der Transmissions-Elektronen-Mikroskopie (TEM), der REM oder der Lichtmikroskopie verwendet werden, um ein Maximum an Informationen zu gewinnen (PIOCH ET AL. 1997).

Die CLSM lieferte detaillierte Informationen bezüglich der Penetration und Verteilung der Haftvermittler. Eine klare Trennung zwischen "Primer" und "Adhäsiv" konnte durch die Markierung der beiden Komponenten mit Farbstoffen, die bei Anregung mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge fluoreszieren, wie auch von D'SOUZA ET AL. (1999) beschrieben, mittels CLSM gesehen werden (siehe Abbildung 31 bis Abbildung 33). Mit der CLSM können "resin tags" dargestellt werden und auch beurteilt werden, aus was für Komponenten die "tags" bestehen (D'SOUZA ET AL. 1999). Es konnte die Penetration des mit Rhodamin B markierten Primers in die Dentintubuli, wie auch die Infiltration und Bildung eines "Hybrid-Layers" des mit Fluorescein markierten Adhäsives, wie von SCHÜPBACH ET AL. (1997) beschrieben, dargestellt werden (siehe Abbildung 32). Bereiche mit dickeren Schichten von Dentinbonding und "Pooling" wurden im REM in der Studie von STAVRIDAKIS ET AL. (2005) an konkaven Stellen gefunden. Ein "Pooling" des Heliobondes wurde auch in dieser Studie, wie bereits von WATSON & WILMOT (1992) und STAHEL (2001) beschrieben, beobachtet (siehe Abbildung 34).

Schlussfolgerungen

Unter den Limitationen des verwendeten Versuchsaufbaus können aus der vorliegenden Studie folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Mit der quantitativen REM-Analyse wurde ein statistisch signifikanter Einfluss einer provisorischen Versorgung auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays gefunden.
2. Die Unterschiede in der internen Adaptation nach Anwendung unterschiedlicher Reinigungsprotokolle waren statistisch signifikant.
3. Die Reinigung mit Bimsstein resultierte, mit nur noch 33.1 ± 9.4 % an kontinuierlichem Rand über den gesamten inneren Füllungsrand, in einer signifikant schlechteren internen Adaptation als die Kontrollgruppe und die anderen Reinigungsprotokolle.
4. Bei der internen Adaptation im Schmelz wurde kein signifikanter Einfluss einer provisorischen Versorgung und kein signifikanter Unterschied in den Versuchsgruppen gefunden. Die mechanische Reinigung gefolgt von einer Säureätzung scheint effektiv für die Schmelzreinigung zu sein.
5. Die Mittelwerte des prozentualen Anteiles an kontinuierlichem Rand variieren über die Dentinabschnitte erheblich. Approximal-zervikal im Dentin fanden sich die schlechtesten Werte von nur 16 ± 10.6 % Gruppe II (Bimsstein) bis 48 ± 17.7 % Gruppe III (Aluminiumoxid) an kontinuierlichem Rand. Eine Untersuchung an verschiedenen Zahnpositionen ist notwendig:
 - a) Approximal-zervikal im Dentin führten das "Cavity Sealing" ($p = 0.0009$; 46.6 ± 17.8 %) und die Reinigung mit 50- μ m-Aluminiumoxidpulver ($p = 0.0006$; 48 ± 17.7 %) zu signifikant höheren Anteilen an kontinuierlichem Rand als die Reinigung mit Bimsstein (16 ± 10.6 %).
 - b) Approximal-axial im Dentin resultierte eine signifikant schlechtere interne Adaptation (29 ± 13.2 %) nach Reinigung mit Bimsstein. Das "Cavity Sealing", das Nachfinieren und das Pulverstrahlen verbesserten die interne Adaptation (Werte zwischen 60.9 ± 16.9 % bis 86.8 ± 9.9 %).

- c) Okklusal auf dem Kavitätenboden resultierte das schlechteste Ergebnis der internen Adaptation nach Reinigung mit Bimsstein ($41.3 \pm 16.1 \%$). Signifikant besser waren das "Cavity Sealing" ($p = 0.0003$; $78.7 \pm 17.5 \%$), das Nachfinieren ($p = 0.0005$; $77 \pm 16.2 \%$) und das Pulverstrahlen mit Glycin ($p < 0.0001$; $90.1 \pm 7.3 \%$).
6. Die Reinigung mit Bimsstein erzielte auch bei einer gut zugänglichen Fläche die schlechteste interne Adaptation. Die Kavitätenreinigung mit Handinstrumenten und Bimsstein nach provisorischer Versorgung muss deshalb als insuffizient betrachtet werden.
7. Das Nachfinieren der Kavität resultierte in einer guten internen Adaptation an der approximal-axialen Dentinwand und auf dem okklusalen Kavitätenboden. Das Nachfinieren als Reinigungsprotokoll für indirekte, zweizeitige Restaurationen kann jedoch für die Klinik nicht empfohlen werden.
8. Die Reinigung mit Pulverstrahlgeräten resultierte in einer besseren internen Adaptation und war der Reinigung mit Bimsstein signifikant überlegen. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede unter den verschiedenen Reinigungs-Pulvern. Das Reinigungsprotokoll mit Natriumbicarbonat wies an allen Lokalisationen schlechtere Werte auf als das Glycin- und das Al_2O_3 -Pulver. Glycin kann aufgrund seiner gesundheitlichen Unbedenklichkeit als Alternative zu andern Reinigungspulvern gesehen werden.
9. Das "Cavity Sealing" zeigt über den gesamten inneren Füllungsrand mit $76.7 \pm 11 \%$ den grössten prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand. Das "Cavity Sealing" wies als einziges Reinigungsprotokoll an allen untersuchten Dentinabschnitten eine signifikant bessere interne Adaptation auf als die konventionelle Reinigung mit Bimsstein.
10. Die semiquantitative CLSM-Untersuchung, nach Markierung von Adhäsivsystem-Komponenten, ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Penetration des Dentinadhäsives durch eine provisorische Versorgung.
11. Die Penetration und Schichtbildung des markierten Dentinadhäsives weist grosse lokalisationsabhängige Unterschiede auf. Die durchgeführte semiquantitative CLSM-Untersuchung eignet sich nur bedingt zum Vergleich mit der internen Adaptation.

Basierend auf diesen In-vitro-Forschungsergebnissen ist es empfehlenswert von der Kavitätenreinigung mit Bimsstein abzusehen, ein "Cavity Sealing" anzuwenden oder die Reinigung mit Pulverstrahlgeräten vorzunehmen. Auf die interne Adaptation im Schmelz hat die provisorische Versorgung mit den üblichen Reinigungsprotokollen keinen negativen Einfluss. Das immediate Versiegeln des Dentins zielt auf die Verbesserung des Dentinbondings und damit auf eine Verbesserung der internen Adaptation.

Idealerweise sollte für indirekte, zweizeitige Restaurationen bei einer prospektiven adhäsiven Befestigung eine Vorbehandlung der Zahnhartsubstanz unmittelbar nach der Präparation durchgeführt werden. Das immediate Versiegeln des Dentins ist eine gut untersuchte Methode. Es verhindert eine bakterielle Kontamination der Präparation in der provisorischen Phase, reduziert die Zahnsensibilität, verbessert die Klebefestigkeit und resultiert, wie in dieser Studie ebenfalls gezeigt werden konnte, in einer signifikant besseren internen Adaptation. Deshalb kann gesagt werden, dass die beschriebene Methode des "Cavity Sealing" weitere klinische Untersuchung und Forschung rechtfertigt.

Die zweifache Nullhypothese war, dass (1) eine provisorische Versorgung, und (2) die unterschiedliche Kavitätenreinigung keinen Einfluss auf die interne Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays haben.

Es wurden beide Teile der Nullhypothese verworfen.

Klinische Relevanz:

Eine provisorische Versorgung beeinflusst die interne Adaptation negativ. Als praktische Konsequenz muss die Kavitätenreinigung mit Bimsstein nach provisorischer Versorgung als obsolet betrachtet werden. Die immediate Dentinversiegelung ("Cavity Sealing") direkt nach der Präparation ist anderen Reinigungsprotokollen nach einer provisorischen Versorgung durch eine bessere interne Adaptation überlegen.

Der Autor erklärt, dass er keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit dieser Studie hat.

Materialliste

Versuchsmaterialien

Syntac Assortment

- | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 | Syntac Primer, LOT G27368 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |
| 2 | Syntac Adhesive, LOT G26946 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |
| 3 | Heliobond, LOT H22750 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |

Modifiziertes Syntac Assortment für die konfokale Mikroskopie

- | | | |
|----|--|---------------------------------|
| 4 | Syntac Primer, LOT J03126 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |
| 5 | Syntac Adhesive, LOT J06705 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |
| 6 | Heliobond, LOT J05403 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |
| 7 | Rhodamin B, LOT G07129 | Fluka Chemie AG, Buchs, CH |
| 8 | Fluorescein-5-isothiocyanat, LOT K23361246 | Merk KGaA, Darmstadt, D |
| 9 | Tetric 110/A1, LOT H35701 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |
| 10 | Fermit, LOT J02216, LOT H31171 | Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL |

Temp-Bond NE™

- | | | |
|----|---|---|
| 11 | Base, LOT 06.1010 | Kerr, Orange, CA, USA |
| 12 | Accelerator, LOT 06.1011 | Kerr, Orange, CA, USA |
| 13 | Wägebapier | Kantonsapotheke, Zürich, CH |
| 14 | Dipol | Benzer-Dental AG, Zürich, CH |
| 15 | CAM-base, LOT 90300202 | Dentona AG, Dortmund, D |
| 16 | Vitablocs Mark II (I12), LOT 23670 | VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, D |
| 17 | Dentatec Pro-CAD, Art-N° 58 09 640 D3268 | Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D |
| 18 | REM-Probenträger, Aluminium | Laubscher, Täuffelen, CH |
| 19 | Paladur, LOT 015852 | Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, D |
| 20 | President Plus light body, JET, LOT 0095975 | Coltène Whaledent AG, Altstätten, CH |
| 21 | Pferdeserum, LOT B02105-0568 | PAA Laboratories GmbH, Pasching, A |
| 22 | Phosphat Buffered Saline, LOT 100244-003 | Oxoid Ltd., Hampshire, GB |
| 23 | Laborschlauch, 1x2 mm, Art-N° 395.002.86/00 | Novoplast AG, Wallbach, CH |
| 24 | Pele Tim N° 2, LOT 400934 | VOCO GmbH, Cuxhaven, D |
| 25 | Ethanolum ketonatum 96% | Kantonsapotheke Zürich, CH |
| 26 | 50-µm-Al ₂ O ₃ Blassand | Benzer-Dental AG, Zürich, CH |
| 27 | Reinigungspulver für KaVo PROPHYflex 3, 2018 | Kaltenbach & Voig GmbH, Biberach, D |

28 Clinpro™ Prophy Powder, LOT 296810	3M ESPE AG, Seefeld, D
29 Serumröhrchen, Chrom-Nickel (1,4 × 1,15 mm)	PPK, Zürich, CH
30 Aluminiumringe, (20 × 18 mm)	PPK, Zürich, CH
31 FIT CHECKER (Black) LOT 0605151	GC Corporation, Tokio, Japan
32 Ultra-Etch, LOT B1XY9	Ultradent Products, Inc, South Jordan, Utha, USA
33 VITA CERAMICS ETCH, LOT 7480	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, D
34 Monobond-S, LOT H30148	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL
35 Bimsstein, Art-N° 900.042	Unor, Schlieren, CH
36 Kerosin, LOT 435482	Fluka Chemie AG, Buchs, CH
37 Diamant-Trennscheibe	Wirtz-Buehler GmbH, Düsseldorf, D
38 Epoxidharz Stycast	Emerson & Cuming, Westerlo, B
39 Cementit universal	Merz + Benteli AG, Niederwangen, CH
40 Lab-Tek Chambered Coverglass 155380, LOT 579225 2803	Nalge Nunc International, Rochester NY, USA
41 Glycerine-Solution	Leica Microsystems Wetzlar GmbH, Wetzlar, D

Instrumente

42 Handscaler Typ M23	Deppeler SA, Rolle, CH
43 Zahnreinigungsbürstchen, Nylon , LOT 063.1	Kenda AG, Vaduz, FL
44 Rotes Winkelstück, Sirius, Serial N° 99 10 042	MICRO-MEGA, Besancon, F
45 Blaues Winkelstück, Sirius, Serial N° 0459	MICRO-MEGA, Besancon, F
46 80-µm-Präparierdiamant, FG 8614, LOT I-0221	Intensiv SA, Grancia, CH
47 25-µm-Finierdiamant, FG 3614, LOT 020429	Intensiv SA, Grancia, CH
48 PCS Instrumente SM und SD	EMS, Nyon, CH
49 Cylinder Bur 1,6, Ref. 54 66 193	Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D
50 Cylinder Pointed Bur, Ref. 58 55 734	Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D
51 Piezon EMS SP-Peek Kappe EL-063	EMS, Nyon, CH
52 Kugelstopfer, 125 BR 126	Deppeler SA, Rolle, CH
53 Doppelend-Spatel MB5	Deppeler SA, Rolle, CH
54 Kuhhornsonde EXD 5	Hu-Friedy, USA
55 40-µm-Finierdiamant, FG 4250, LOT M-0216	Intensiv SA, Grancia, CH
56 25-µm-Finierdiamant, FG 3250, LOT P-9728	Intensiv SA, Grancia, CH
57 8-µm-Finierdiamant, FG, LOT M-9808	Intensiv SA, Grancia, CH
58 Softl-Lex Polierscheiben	3M ESPE AG, St.Paul MN, USA

- 59 Hawe Occlubrush Spitze 2505 kl KerrHawe SA, Bioggio, CH
 60 Hawe Occlubrush, Art. N° 2511, Small Cup KerrHawe SA, Bioggio, CH

Geräte und Maschinen

- 61 METTLER AT261 Delta Range Serial N° K61239 Mettler Instrumente AG, Greiffensee, CH
 62 Überkopfschüttler GFL 3025, Serial N° 10293288E Gesellschaft für Labortechnik mbH, Burgwedel, D
 63 Optilux 500, Serial N° 5300185 Demetron Kerr, Danbury, USA
 64 Optilux Radiometer Kerr Corporation, Danbury, USA
 65 EMS miniPiezon, Serial N° 34 2971 EMS, Nyon, CH
 66 Dentinliquorersatzstativ PPK, Zürich, CH
 67 Zentrierhilfe PPK, Zürich, CH
 68 Sockelformer PPK, Zürich, CH
 69 Antagonistenträger PPK, Zürich, CH
 70 Stereo-Mikroskop Stemi 2000 Carl Zeiss AG, Feldbach, CH
 71 Membran-Vakuumpumpe, Serial N° 18531102/95 Vacuubrand GmbH+Co, Wertheim, D
 72 Wärmeschrank, Serial N° 910098 WTB Binder, Tuttlingen, D
 73 Nachbarzahnsimulator PPK, Zürich, CH
 74 Micro Sandblaster, microetcher II, LOT DZ Danville Engineering Inc., San Ramon, USA
 75 Pulverstrahlgerät, KaVo, PROPHYflex 3, 2018 KaVo Dental GmbH, D
 76 CEREC inLab Schleifeinheit, Serial N° 01307 Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D
 77 inEos Scanner, Serial N° 40102 Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D
 78 Gebiss Schädel mit Gesichtsmaske (KaVo Dental GmbH, D)
 79 Modell 100 Optilux Radiometer, Serial N° 142188 Kerr Corporation, Danbury, USA
 80 Kaumaschiene PPK, Zürich, CH
 81 Isomet Low Speed Saw, Serial N° 587-ISF-02781 Buehler, Illionis, USA
 82 Sputter SCD 030 Balzers Union, Balzers, FL
 83 Rasterelktronenmikroskop, Amray 1810T Amray Inc., Bedford MA, USA
 84 Leica TCS SP5, Serial N° 5100000108 Leica Microsystems CMS GmbH, Mannheim, D
 85 Objektiv: 20x /0.7 HC PL APO, Leica-Nr 506-191 Leica Microsystems CMS GmbH, Mannheim, D

Elektronische Datenverarbeitung

- | | | |
|----|---|--|
| 86 | CEREC Software, Version 2.70 R2200 | Sirona Dental Systems GmbH,
Bensheim, D |
| 87 | Microsoft Office Word 2003 (SP2) | Microsoft Corporation |
| 88 | Microsoft Office Excel 2003 (SP2) | Microsoft Corporation |
| 89 | Leica Application Suite, 1.6.3 build 1163 | Leica Microsystems CMS GmbH,
Mannheim, D |
| 90 | ImageJ 1.41o | Wayne Rasband, National Institutes of
Health, USA |
| 91 | SPSS 16 für Windows, Version 16.0.2 | SPSS Inc. |
| 92 | StatView Version 5.0 | SAS Institute Inc. |

Literaturverzeichnis

Publikationen

- ABO-HAMAR S E, FEDERLIN M, HILLER K A, FRIEDL K H, SCHMALZ G:** Effect of temporary cements on the bond strength of ceramic luted to dentin. *Dent Mater* 21: 794-803 (2005)
- AIROLDI R L, KREJCI I, LUTZ F:** In vitro evaluation of dentinal bonding agents in mixed Class V cavity preparations. *Quintessence Int* 23: 355-362 (1992)
- ALLEN K L, SCHENKEL A B, ESTAFAN D:** An overview of the CEREC 3D CAD/CAM system. *Gen Dent* 52: 234-235 (2004)
- ATTIA A, ABDELAZIZ K M, FREITAG S, KERN M:** Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns. *J Prosthet Dent* 95: 117-123 (2006)
- BACHMANN M, PAUL S J, LUTHY H, SCHÄRER P:** Effect of cleaning dentine with soap and pumice on shear bond strength of dentine-bonding agents. *J Oral Rehabil* 24: 433-438 (1997)
- BARNES D M, THOMPSON V P, BLANK L W, McDONALD N J:** Microleakage of Class 5 composite resin restorations: a comparison between in vivo and in vitro. *Oper Dent* 18: 237-245 (1993)
- BERTSCHINGER C, PAUL S J, LUTHY H, SCHARER P:** Dual application of dentin bonding agents: effect on bond strength. *Am J Dent* 9: 115-119 (1996)
- BESEK M, WINDELER T, SCHMIDLIN P, SCHUG J, GÖHRING T N:** Zahnfarbene adhäsive Füllungen im Seitenzahnbereich. Eigenverlag PPK, Zürich: 209-210 (2004)
- BINDL A & MÖRMANN W H:** Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM-generated partial crowns. *Eur J Oral Sci* 111: 163-169 (2003)
- BLACK R B:** Technic for non-mechanical preparation of cavities and prophylaxis. *J Am Dent Assoc* 32: 955-965 (1945)
- BLACK R B:** Application and revaluation of air abrasive technic. *J Am Dent Assoc* 50: 408-414 (1955)
- BLATZ M B, OPPES S, CHICHE G, HOLST S, SADAN A:** Influence of cementation technique on fracture strength and leakage of alumina all-ceramic crowns after cyclic loading. *Quintessence Int* 39: 23-32 (2008)
- BORSATTO M C, CATIRSE A B, PALMA DIBB R G, NASCIMENTO T N, ROCHA R A, CORONA S A:** Shear bond strength of enamel surface treated with air-abrasive system. *Braz Dent J* 13: 175-178 (2002)
- BROWN J R & BARKMEIER W W:** A comparison of six enamel treatment procedures for sealant bonding. *Pediatr Dent* 18: 29-31 (1996)
- BUONOCORE M G:** A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34: 849-853 (1955)
- CAGIDIACO M C, FERRARI M, GARBEROGLIO R, DAVIDSON C L:** Dentin contamination protection after mechanical preparation for veneering. *Am J Dent* 9: 57-60 (1996)

- CANAY S, KOCADERELI I, AK"CA E:** The effect of enamel air abrasion on the retention of bonded metallic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117: 15-19 (2000)
- CHAIYABUTR Y & KOIS J C:** The effects of tooth preparation cleansing protocols on the bond strength of self-adhesive resin luting cement to contaminated dentin. *Oper Dent* 33: 556-563 (2008)
- CHAPPELL R P, COBB C M, SPENCER P, EICK J D:** Dentinal tubule anastomosis: a potential factor in adhesive bonding? *J Prosthet Dent* 72: 183-188 (1994)
- D'ALPINO P H, PEREIRA J C, SVIZERO N R, RUEGGERBERG F A, CARVALHO R M, PASHLEY D H:** A new technique for assessing hybrid layer interfacial micromorphology and integrity: two-photon laser microscopy. *J Adhes Dent* 8: 279-284 (2006)
- D'SOUZA P D, DUSCHNER H, STAEHLE H J, PIOCH T:** Dentin bonding systems: a comparative study of SEM and CLSM used to visualize the resin-dentin interface. *Acta Med Dent Helv* 4: 20-26 (1999)
- DE MUNCK J, VAN MEERBEEK B, SATOSHI I, VARGAS M, YOSHIDA Y, ARMSTRONG S, LAMBRECHTS P, VANHERLE G:** Microtensile bond strengths of one- and two-step self-etch adhesives to bur-cut enamel and dentin. *Am J Dent* 16: 414-420 (2003)
- DELONG R, SAKAGUCHI R L, DOUGLAS W H, PINTADO M R:** The wear of dental amalgam in an artificial mouth: a clinical correlation. *Dent Mater* 1: 238-242 (1985)
- DERKSON G D, PASHLEY D H, DERKSON M E:** Microleakage measurement of selected restorative materials: a new in vitro method. *J Prosthet Dent* 56: 435-440 (1986)
- DEWALD J P, MOODY C R, FERRACANE J L:** Softening of composite resin by moisture and cements. *Quintessence Int* 19: 619-621 (1988)
- DIETSCHI D, BINDI G, KREJCI I, DAVIDSON C:** Marginal and internal adaptation of stratified compomer-composite Class II restorations. *Oper Dent* 27: 500-509 (2002a)
- DIETSCHI D & HERZFELD D:** In vitro evaluation of marginal and internal adaptation of class II resin composite restorations after thermal and occlusal stressing. *Eur J Oral Sci* 106: 1033-1042 (1998)
- DIETSCHI D, MONASEVIC M, KREJCI I, DAVIDSON C:** Marginal and internal adaptation of class II restorations after immediate or delayed composite placement. *J Dent* 30: 259-269 (2002b)
- DIETSCHI D, OLSBURGH S, KREJCI I, DAVIDSON C:** In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases. *Eur J Oral Sci* 111: 73-80 (2003)
- DUKE E S, PHILLIPS R W, BLUMERSHINE R:** Effects of various agents in cleaning cut dentine. *J Oral Rehabil* 12: 295-302 (1985)
- ELHABASHY A, SWIFT E J, JR., BOYER D B, DENEHY G E:** Effects of dentin permeability and hydration on the bond strengths of dentin bonding systems. *Am J Dent* 6: 123-126 (1993)

- ENDER A & MÖRMANN W H:** Cerec 3D Design, Vollkeramische CAD/CAM Inlays, Teilkronen, Kronen und Veneers. Stiftung zur Förderung der Computerzahnmedizin Zürich SFCZ Band 5: 1-292 (2005)
- FEILZER A J, DE GEE A J, DAVIDSON C L:** Increased wall-to-wall curing contraction in thin bonded resin layers. *J Dent Res* 68: 48-50 (1989)
- FINGER W J:** Dentin bonding agents. Relevance of in vitro investigations. *Am J Dent* 1 Spec No: 184-188 (1988)
- FONSECA R B, MARTINS L R, QUAGLIATTO P S, SOARES C J:** Influence of provisional cements on ultimate bond strength of indirect composite restorations to dentin. *J Adhes Dent* 7: 225-230 (2005)
- FRANKENBERGER R:** Adhäsivtechnik 2009 – Neuigkeiten, Tipps und Trends. *Die Quintessenz* 60: 415 - 423 (2009)
- FRANKENBERGER R, LOHBAUER U, SCHAIBLE R B, NIKOLAENKO S A, NAUMANN M:** Luting of ceramic inlays in vitro: marginal quality of self-etch and etch-and-rinse adhesives versus self-etch cements. *Dent Mater* 24: 185-191 (2008)
- FRANKENBERGER R, LOHBAUER U, TASCHNER M, PETSCHLT A, NIKOLAENKO S A:** Adhesive luting revisited: influence of adhesive, temporary cement, cavity cleaning, and curing mode on internal dentin bond strength. *J Adhes Dent* 9 Suppl 2: 269-273 (2007a)
- FRANKENBERGER R, LOHBAUER U, TAY F R, TASCHNER M, NIKOLAENKO S A:** The effect of different air-polishing powders on dentin bonding. *J Adhes Dent* 9: 381-389 (2007b)
- FRANKENBERGER R & TAY F R:** Self-etch vs etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations. *Dent Mater* 21: 397-412 (2005)
- GANSS C & JUNG M:** Effect of eugenol-containing temporary cements on bond strength of composite to dentin. *Oper Dent* 23: 55-62 (1998)
- GERBO L R, BARNES C M, LEINFELDER K F:** Applications of the air-powder polisher in clinical orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 103: 71-73 (1993)
- GERBO L R, LACEFIELD W R, WELLS B R, RUSSELL C M:** The effect of enamel preparation on the tensile bond strength of orthodontic composite resin. *Angle Orthod* 62: 275-281; discussion 282 (1992)
- GÖHRING T N, ZEHNDER M, SENER B, SCHMIDLIN P R:** In vitro microleakage of adhesive-sealed dentin with lactic acid and saliva exposure: a radio-isotope analysis. *J Dent* 32: 235-240 (2004)
- GRASSO C A, CALUORI D M, GOLDSTEIN G R, HITTELMAN E:** In vivo evaluation of three cleansing techniques for prepared abutment teeth. *J Prosthet Dent* 88: 437-441 (2002)
- GRAY G B, CAREY G P, JAGGER D C:** An in vitro investigation of a comparison of bond strengths of composite to etched and air-abraded human enamel surfaces. *J Prosthodont* 15: 2-8 (2006)
- GRIFFITHS B M & WATSON T F:** Resin-dentin interface of Scotchbond Multi-Purpose dentin adhesive. *Am J Dent* 8: 212-216 (1995)

- GRIFFITHS B M, WATSON T F, SHERRIFF M:** The influence of dentine bonding systems and their handling characteristics on the morphology and micropermeability of the dentine adhesive interface. *J Dent* 27: 63-71 (1999)
- HALPERN R M & ROULEAU T:** The effect of air abrasion preparation on the shear bond strength of an orthodontic bracket bonded to enamel. *Eur J Orthod* (2009)
- HANSEN E K & ASMUSSEN E:** Influence of temporary filling materials on effect of dentin-bonding agents. *Scand J Dent Res* 95: 516-520 (1987)
- HETZEL M:** In-vivo-Untersuchung über die subgingivale Penetrationsfähigkeit und Reinigungswirkung eines niedrigabrasiven Pulverstrahlsystems. *Med Diss Wilhelms-Universität Münster*: 1-53 (2006)
- HIRAISHI N, YIU C K, KING N M, TAY F R:** Effect of pulpal pressure on the microtensile bond strength of luting resin cements to human dentin. *Dent Mater* 25: 58-66 (2009)
- ISLAM M R, TAKADA T, WEERASINGHE D S, UZZAMAN M A, FOXTON R M, NIKAIIDO T, TAGAMI J:** Effect of resin coating on adhesion of composite crown restoration. *Dent Mater J* 25: 272-279 (2006)
- JAYASOORIYA P R, PEREIRA P N, NIKAIIDO T, BURROW M F, TAGAMI J:** The effect of a "resin coating" on the interfacial adaptation of composite inlays. *Oper Dent* 28: 28-35 (2003a)
- JAYASOORIYA P R, PEREIRA P N, NIKAIIDO T, TAGAMI J:** Efficacy of a resin coating on bond strengths of resin cement to dentin. *J Esthet Restor Dent* 15: 105-113; discussion 113 (2003b)
- JUNG M, GANSS C, SENGER S:** Effect of eugenol-containing temporary cements on bond strength of composite to enamel. *Oper Dent* 23: 63-68 (1998)
- KITAYAMA S, PILECKI P, NASSER N A, BRAVIS T, WILSON R F, NIKAIIDO T, TAGAMI J, WATSON T F, FOXTON R M:** Effect of resin coating on adhesion and microleakage of computer-aided design/computer-aided manufacturing fabricated all-ceramic crowns after occlusal loading: a laboratory study. *Eur J Oral Sci* 117: 454-462 (2009)
- KOSAKA S, KAJIHARA H, KURASHIGE H, TANAKA T:** Effect of resin coating as a means of preventing marginal leakage beneath full cast crowns. *Dent Mater J* 24: 117-122 (2005)
- KREJCI I, KUSTER M, LUTZ F:** Influence of dentinal fluid and stress on marginal adaptation of resin composites. *J Dent Res* 72: 490-494 (1993a)
- KREJCI I & LUTZ F:** In-vitro test results of the evaluation of dental restoration systems. Correlation with in-vivo results. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100: 1445-1449 (1990)
- KREJCI I, LUTZ F, REIMER M:** Marginal adaptation and fit of adhesive ceramic inlays. *J Dent* 21: 39-46 (1993b)
- KREJCI I, MUELLER E, LUTZ F:** Effects of thermocycling and occlusal force on adhesive composite crowns. *J Dent Res* 73: 1228-1232 (1994)
- KREJCI I, REICH T, LUTZ F, ALBERTONI M:** [An in vitro test procedure for evaluating dental restoration systems. 1. A computer-controlled mastication simulator]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100: 953-960 (1990)

- KUPIEC K A & BARKMEIER W W:** Laboratory evaluation of surface treatments for composite repair. *Oper Dent* 21: 59-62 (1996)
- LATTA M A, KELSEY W P, MURDOCK C M:** Effects of adhesive liner and provisional cement on the bond strength of nickel/chrome/beryllium alloy cemented to dentin. *Quintessence Int* 36: 817-823 (2005)
- LOS S A & BARKMEIER W W:** Effects of dentin air abrasion with aluminum oxide and hydroxyapatite on adhesive bond strength. *Oper Dent* 19: 169-175 (1994)
- LUESCHER B, LUTZ F, OCHSENBEIN H, MUHLEMANN H R:** Microleakage and marginal adaptation in conventional and adhesive class II restoration. *J Prosthet Dent* 37: 300-309 (1977)
- LUTZ F U, KREJCI I, BESEK M:** Operative dentistry: the missing clinical standards. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 9: 541-548 (1997)
- MAGNE P:** Immediate dentin sealing: a fundamental procedure for indirect bonded restorations. *J Esthet Restor Dent* 17: 144-154; discussion 155 (2005)
- MAGNE P & DOUGLAS W H:** Porcelain veneers: dentin bonding optimization and biomimetic recovery of the crown. *Int J Prosthodont* 12: 111-121 (1999)
- MAGNE P, KIM T H, CASCIONE D, DONOVAN T E:** Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *J Prosthet Dent* 94: 511-519 (2005)
- MAGNE P & NIELSEN B:** Interactions between impression materials and immediate dentin sealing. *J Prosthet Dent* 102: 298-305 (2009)
- MAGNE P, SO W S, CASCIONE D:** Immediate dentin sealing supports delayed restoration placement. *J Prosthet Dent* 98: 166-174 (2007)
- MARTIN N & JEDYNAKIEWICZ N M:** Clinical performance of CEREC ceramic inlays: a systematic review. *Dent Mater* 15: 54-61 (1999)
- MILLSTEIN P L & NATHANSON D:** Effect of eugenol and eugenol cements on cured composite resin. *J Prosthet Dent* 50: 211-215 (1983)
- MITCHEM J C, TERKLA L G, GRONAS D G:** Bonding of resin dentin adhesives under simulated physiological conditions. *Dent Mater* 4: 351-353 (1988)
- MOHAN B & KANDASWAMY D:** A confocal microscopic evaluation of resin-dentin interface using adhesive systems with three different solvents bonded to dry and moist dentin in vitro study. *Quintessence Int* 36: 511-521 (2005)
- MOLL K & HALLER B:** Effect of intrinsic and extrinsic moisture on bond strength to dentine. *J Oral Rehabil* 27: 150-165 (2000)
- MÖRMANN W & KREJCI I:** Computer-designed inlays after 5 years in situ: clinical performance and scanning electron microscopic evaluation. *Quintessence Int* 23: 109-115 (1992)
- MÖRMANN W H & BINDL A:** All-ceramic, chair-side computer-aided design/computer-aided machining restorations. *Dent Clin North Am* 46: 405-426, viii (2002)
- MÖRMANN W H, BINDL A, LUTHY H, RATHKE A:** Effects of preparation and luting system on all-ceramic computer-generated crowns. *Int J Prosthodont* 11: 333-339 (1998)

- MUJDECI A & GOKAY O:** The effect of airborne-particle abrasion on the shear bond strength of four restorative materials to enamel and dentin. *J Prosthet Dent* 92: 245-249 (2004)
- NIKAIDO T, KATAUMI M, BURROW M F, INOKOSHI S, YAMADA T, TAKATSU T:** Bond strengths of resin to enamel and dentin treated with low-pressure air abrasion. *Oper Dent* 21: 218-224 (1996)
- NIKAIDO T, YAMADA T, KOH Y, BURROW M F, TAKATSU T:** Effect of air-powder polishing on adhesion of bonding systems to tooth substrates. *Dent Mater* 11: 258-264 (1995)
- OKUDA M, NIKAIIDO T, MARUOKA R, FOXTON R M, TAGAMI J:** Microtensile bond strengths to cavity floor dentin in indirect composite restorations using resin coating. *J Esthet Restor Dent* 19: 38-46; discussion 47-38 (2007)
- OLSEN M E, BISHARA S E, DAMON P, JAKOBSEN J R:** Comparison of shear bond strength and surface structure between conventional acid etching and air-abrasion of human enamel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112: 502-506 (1997)
- OTTO T & SCHNEIDER D:** Long-term clinical results of chairside Cerec CAD/CAM inlays and onlays: a case series. *Int J Prosthodont* 21: 53-59 (2008)
- OZTURK N & AYKENT F:** Dentin bond strengths of two ceramic inlay systems after cementation with three different techniques and one bonding system. *J Prosthet Dent* 89: 275-281 (2003)
- PAPACCHINI F, DALL'OCA S, CHIEFFI N, GORACCI C, SADEK F T, SUH B I, TAY F R, FERRARI M:** Composite-to-composite microtensile bond strength in the repair of a microfilled hybrid resin: effect of surface treatment and oxygen inhibition. *J Adhes Dent* 9: 25-31 (2007)
- PASHLEY D H:** In vitro simulations of in vivo bonding conditions. *Am J Dent* 4: 237-240 (1991)
- PASHLEY D H, NELSON R, WILLIAMS E C, KEPLER E E:** Use of dentine-fluid protein concentrations to measure pulp capillary reflection coefficients in dogs. *Arch Oral Biol* 26: 703-706 (1981)
- PASHLEY D H, PASHLEY E L, CARVALHO R M, TAY F R:** The effects of dentin permeability on restorative dentistry. *Dent Clin North Am* 46: 211-245, v-vi (2002)
- PASHLEY E L, COMER R W, SIMPSON M D, HORNER J A, PASHLEY D H, CAUGHMAN W F:** Dentin permeability: sealing the dentin in crown preparations. *Oper Dent* 17: 13-20 (1992)
- PAUL S J & SCHÄRER P:** Intrapulpal pressure and thermal cycling: effect on shear bond strength of eleven modern dentin bonding agents. *J Esthet Dent* 5: 179-185 (1993)
- PAUL S J & SCHÄRER P:** The dual bonding technique: a modified method to improve adhesive luting procedures. *Int J Periodontics Restorative Dent* 17: 536-545 (1997a)
- PAUL S J & SCHÄRER P:** Effect of provisional cements on the bond strength of various adhesive bonding systems on dentine. *J Oral Rehabil* 24: 8-14 (1997b)
- PEREIRA P N, OKUDA M, SANO H, YOSHIKAWA T, BURROW M F, TAGAMI J:** Effect of intrinsic wetness and regional difference on dentin bond strength. *Dent Mater* 15: 46-53 (1999)
- PETERS O, GÖHRING T N, LUTZ F:** Effect of eugenol-containing sealer on marginal adaptation of dentine-bonded resin fillings. *Int Endod J* 33: 53-59 (2000)

- PETERSILKA G J, BELL M, HABERLEIN I, MEHL A, HICKEL R, FLEMMIG T F:** In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. *J Clin Periodontol* 30: 9-13 (2003)
- PEUTZFELDT A & ASMUSSEN E:** Influence of eugenol-containing temporary cement on efficacy of dentin-bonding systems. *Eur J Oral Sci* 107: 65-69 (1999)
- PEUTZFELDT A & ASMUSSEN E:** Influence of eugenol-containing temporary cement on bonding of self-etching adhesives to dentin. *J Adhes Dent* 8: 31-34 (2006)
- PIOCH T, STAEHLE H J, SCHNEIDER H, DUSCHNER H, DORFER C E:** Effect of intrapulpal pressure simulation in vitro on shear bond strengths and hybrid layer formation. *Am J Dent* 14: 319-323 (2001)
- PIOCH T, STOTZ S, BUFF E, DUSCHNER H, STAEHLE H J:** Influence of different etching times on hybrid layer formation and tensile bond strength. *Am J Dent* 11: 202-206 (1998)
- PIOCH T, STOTZ S, STAEHLE H J, DUSCHNER H:** Applications of confocal laser scanning microscopy to dental bonding. *Adv Dent Res* 11: 453-461 (1997)
- POSSELT A & KERSCHBAUM T:** Longevity of 2328 chairside Cerec inlays and onlays. *Int J Comput Dent* 6: 231-248 (2003)
- PRATI C, PASHLEY D H, MONTANARI G:** Hydrostatic intrapulpal pressure and bond strength of bonding systems. *Dent Mater* 7: 54-58 (1991)
- PURI S:** Predictable preparation, staining, and cementation procedures for chairside CAD/CAM dentistry. *Pract Proced Aesthet Dent* 20: 209-214 (2008)
- QVIST V:** The effect of mastication on marginal adaptation of composite restorations in vivo. *J Dent Res* 62: 904-906 (1983)
- REISS B:** Clinical results of Cerec inlays in a dental practice over a period of 18 years. *Int J Comput Dent* 9: 11-22 (2006)
- RICHARDSON D, TAO L, PASHLEY D H:** Dentin permeability: effects of crown preparation. *Int J Prosthodont* 4: 219-225 (1991)
- ROEDER L B, BERRY E A, 3RD, YOU C, POWERS J M:** Bond strength of composite to air-abraded enamel and dentin. *Oper Dent* 20: 186-190 (1995)
- ROSENSTIEL S F & GEGAUFF A G:** Effect of provisional cementing agents on provisional resins. *J Prosthet Dent* 59: 29-33 (1988)
- ROULET J F:** A materials scientist's view: assessment of wear and marginal integrity. *Quintessence Int* 18: 543-552 (1987)
- SAKAGUCHI R L, DOUGLAS W H, DELONG R, PINTADO M R:** The wear of a posterior composite in an artificial mouth: a clinical correlation. *Dent Mater* 2: 235-240 (1986)
- SARAÇ D, BULUCU B, SARAÇ Y S, KULUNK S:** The effect of dentin-cleaning agents on resin cement bond strength to dentin. *J Am Dent Assoc* 139: 751-758 (2008)
- SARAÇ D, SARAÇ Y S, KULUNK S, KULUNK T:** Effect of the dentin cleansing techniques on dentin wetting and on the bond strength of a resin luting agent. *J Prosthet Dent* 94: 363-369 (2005)

- SCHENKE F, HILLER K A, SCHMALZ G, FEDERLIN M:** Marginal integrity of partial ceramic crowns within dentin with different luting techniques and materials. *Oper Dent* 33: 516-525 (2008)
- SCHÜPBACH P, KREJCI I, LUTZ F:** Dentin bonding: effect of tubule orientation on hybrid-layer formation. *Eur J Oral Sci* 105: 344-352 (1997)
- SCHWARTZ R, DAVIS R, HILTON T J:** Effect of temporary cements on the bond strength of a resin cement. *Am J Dent* 5: 147-150 (1992)
- STAHEL S R:** Der Einfluss provisorischer Zemente auf die adhäsive Befestigung / eine morphologische In-vitro-Studie unter Verwendung der konfokalen Mikroskopie. *Med Diss Zürich*: 1-56 (2001)
- STAVRIDAKIS M M, KREJCI I, MAGNE P:** Immediate dentin sealing of onlay preparations: thickness of pre-cured Dentin Bonding Agent and effect of surface cleaning. *Oper Dent* 30: 747-757 (2005)
- SUDSANGIAM S & VAN NOORT R:** Do dentin bond strength tests serve a useful purpose? *J Adhes Dent* 1: 57-67 (1999)
- SUH B I:** Oxygen-inhibited layer in adhesion dentistry. *J Esthet Restor Dent* 16: 316-323 (2004)
- SWIFT E J, JR.:** New adhesive resins. A status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 2: 358-360 (1989)
- SWIFT E J, JR.:** Critical appraisal: immediate dentin sealing for indirect bonded restorations. *J Esthet Restor Dent* 21: 62-67 (2009)
- SWIFT E J, JR., PERDIGAO J, HEYMANN H O:** Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. *Quintessence Int* 26: 95-110 (1995)
- TANAKA T, FUJIYAMA E, SHIMIZU H, TAKAKI A, ATSUTA M:** Surface treatment of nonprecious alloys for adhesion-fixed partial dentures. *J Prosthet Dent* 55: 456-462 (1986)
- TAO L & PASHLEY D H:** Dentin perfusion effects on the shear bond strengths of bonding agents to dentin. *Dent Mater* 5: 181-184 (1989)
- TAY F R, GWINNETT A J, PANG K M, WEI S H:** Variability in microleakage observed in a total-etch wet-bonding technique under different handling conditions. *J Dent Res* 74: 1168-1178 (1995)
- TERATA R:** Characterization of enamel and dentin surfaces after removal of temporary cement--study on removal of temporary cement. *Dent Mater J* 12: 18-28 (1993)
- TERATA R, NAKASHIMA K, OBARA M, KUBOTA M:** Characterization of enamel and dentin surfaces after removal of temporary cement--effect of temporary cement on tensile bond strength of resin luting cement. *Dent Mater J* 13: 148-154 (1994)
- TERKLA L G, BROWN A C, HAINISCH A P, MITCHEM J C:** Testing sealing properties of restorative materials against moist dentin. *J Dent Res* 66: 1758-1764 (1987)
- VAN HASSEL H J:** Physiology of the human dental pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32: 126-134 (1971)

- VAN MEERBEEK B, DE MUNCK J, YOSHIDA Y, INOUE S, VARGAS M, VIJAY P, VAN LANDUYT K, LAMBRECHTS P, VANHERLE G:** Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 28: 215-235 (2003)
- VAN WAVEREN HOGERVORST W L, FEILZER A J, PRAHL-ANDERSEN B:** The air-abrasion technique versus the conventional acid-etching technique: A quantification of surface enamel loss and a comparison of shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117: 20-26 (2000)
- WATANABE E K, YAMASHITA A, IMAI M, YATANI H, SUZUKI K:** Temporary cement remnants as an adhesion inhibiting factor in the interface between resin cements and bovine dentin. *Int J Prosthodont* 10: 440-452 (1997)
- WATANABE E K, YAMASHITA A, YATANI H, ISHIKAWA K, SUZUKI K:** Improvement in the tensile bond strength between resin cement and dentin surfaces after temporary cement application. *Int J Prosthodont* 11: 203-211 (1998)
- WATANABE E K, YATANI H, YAMASHITA A, ISHIKAWA K, SUZUKI K:** Effects of thermocycling on the tensile bond strength between resin cement and dentin surfaces after temporary cement application. *Int J Prosthodont* 12: 230-235 (1999)
- WATSON T F:** A confocal optical microscope study of the morphology of the tooth/restoration interface using Scotchbond 2 dentin adhesive. *J Dent Res* 68: 1124-1131 (1989)
- WATSON T F:** Fact and artefact in confocal microscopy. *Adv Dent Res* 11: 433-441 (1997)
- WATSON T F & BOYDE A:** Tandem scanning reflected light microscopy: applications in clinical dental research. *Scanning Microsc* 1: 1971-1981 (1987)
- WATSON T F & WILMOT D M:** A confocal microscopic evaluation of the interface between Syntac adhesive and tooth tissue. *J Dent* 20: 302-310 (1992)
- WEAKS L M, LESCHER N B, BARNES C M, HOLROYD S V:** Clinical evaluation of the Prophy-Jet as an instrument for routine removal of tooth stain and plaque. *J Periodontol* 55: 486-488 (1984)
- WHITE J G, AMOS W B, FORDHAM M:** An evaluation of confocal versus conventional imaging of biological structures by fluorescence light microscopy. *J Cell Biol* 105: 41-48 (1987)
- WOODY T L & DAVIS R D:** The effect of eugenol-containing and eugenol-free temporary cements on microleakage in resin bonded restorations. *Oper Dent* 17: 175-180 (1992)
- XIE J, POWERS J M, MCGUCKIN R S:** In vitro bond strength of two adhesives to enamel and dentin under normal and contaminated conditions. *Dent Mater* 9: 295-299 (1993)
- YAP A U, SHAH K C, LOH E T, SIM S S, TAN C C:** Influence of eugenol-containing temporary restorations on bond strength of composite to dentin. *Oper Dent* 26: 556-561 (2001)
- YAP A U, SHAH K C, LOH E T, SIM S S, TAN C C:** Influence of ZOE temporary restorations on microleakage in composite restorations. *Oper Dent* 27: 142-146 (2002)
- ZELLWEGER U:** Einfluss der Sauerstoff-Inhibitionsschicht von Dentin-adhäsiven auf die Polymerisation verschiedener Abdruckmaterialien. *Med Diss Zürich*: 1-47 (1997)
- ZHANG Y S & LI N Y:** Current application of confocal laser scanning microscope (CLSM) in stomatology. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 16: 219-224 (2007)

Zusatzstoffverordnung, ZuV, Eidgenössisches Departement des Innern: 6191-6344 (2005)

Verarbeitungsanleitungen

Verarbeitungsanleitung CAM-base, Dentona AG, Dortmund, D

Verarbeitungsanleitung Fermit, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL

Verarbeitungsanleitung Paladur, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, D

Verarbeitungsanleitung President Plus light body, Coltène Whaledent AG, Altstätten, CH

Verarbeitungsanleitung Syntac Assortment, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, FL

Verarbeitungsanleitung Temp-Bond NE, Kerr, Orange, CA, USA

Verarbeitungsanleitung FIT CHECKER (Black), GC Corporation, Tokio, Japan

Verarbeitungsanleitung Dentatec Pro-CAD, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, D

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 A) + B) ZENTRISCHE POSITIONIERUNG UND FIXIERUNG DER ZÄHNE MITTELS ZENTRIERHILFE AUF DEM PROBENTRÄGER, C) EINBETTUNG IN PMMA-KUNSTSTOFF IM SOCKELFORMER	19
ABBILDUNG 2 MOD-KAVITÄT FÜR EIN CEREC-INLAY MIT EINEM APPROXIMALKASTEN IM SCHMELZ UND EINEM IM DENTIN; A) ANSICHT VON OKKLUSAL B) ANSICHT VON MESIAL AUF DIE SCHMELZSTUFE C) ANSICHT VON DISTAL AUF DIE DENTINSTUFE	21
ABBILDUNG 3 A) ABFORMUNG MIT SILIKON IN EINEM ALUMINIUMRING, B) AUSGEGOSSENES GIPSMODELL	24
ABBILDUNG 4 SCANBILD ANSICHT VON OKKLUSAL A) MIT EINGEZEICHNETEN PRÄPARATIONSRANDLINIEN B) KONSTRUKTIONSVORSCHLAG MIT KONSTRUKTIONSLINIEN C) KONSTRUIERTES, VIRTUELL EINGESETZTES INLAY	25
ABBILDUNG 5 A) NACHBARZAHNSIMULATOR MIT VERSUCHSZAHN SEITLICH B) ANSICHT VON OBEN C) GEBISSSCHÄDEL MIT GESICHTSMASKE NACH DEM EINSETZEN DES NACHBARZAHNSIMULATORS ...	26
ABBILDUNG 6 POLIERTES INLAY A) ANSICHT VON OKKLUSAL B) ANSICHT VON MESIAL C) ANSICHT VON DISTAL ...	30
ABBILDUNG 7 A) PROBEKAMMER DES COMPUTERGESTEUERTEN KAUSIMULATORS B) VERSUCHSZAHN ANGESCHLOSSEN AN DENTINLIQUORERSATZ MIT ANTAGONIST	31
ABBILDUNG 8 A) SCHNEIDEN DER VERSUCHSZÄHNE MIT DIAMANT-TRENNSCHEIBE UNTER KEROSENKÜHLUNG B) GESCHNITTENER VERSUCHSZAHN	32
ABBILDUNG 9 MIT GOLD ÜBERZOGENE REPLIK DER INNENFLÄCHE DER RESTAURATION	33
ABBILDUNG 10 REM-ÜBERSICHTSAUFNAHME BEI 13FACHER VERGRÖßERUNG (GRUPPE I, VERSUCHSZAHN 1 (SIEHE TABELLE 1, SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	34
ABBILDUNG 11 A) SCHMELZSTUFE BEI 60FACHER VERGRÖßERUNG (GRUPPE VI, VERSUCHSZAHN 62, (SIEHE TABELLE 1, SEITE 20)) B) DENTINSTUFE BEI 60FACHER VERGRÖßERUNG (GRUPPE VI, VERSUCHSZAHN 65, (SIEHE TABELLE 1, SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	35
ABBILDUNG 12 BILDER BEI 200FACHER VERGRÖßERUNG A) MIT PFEILEN MARKIERTER GROSSER BEREICH MIT "NICHTKONTINUIERLICHEM RAND" = NCM AM ÜBERGANG SCHMELZSTUFE ZU AXIALER WAND (GRUPPE II, VERSUCHSZAHN 24 (SIEHE TABELLE 1, SEITE 20)) B) "KONTINUIERLICHER RAND" = CM AM ÜBERGANG AXIALE WAND ZU DENTINSTUFE (GRUPPE VI, VERSUCHSZAHN 65 (SIEHE TABELLE 1, SEITE 20))	35
ABBILDUNG 13 DARSTELLUNG DER GEWÄHLTEN UNTERSUCHUNGSABSCHNITTE	36
ABBILDUNG 14 HÖHERE AUFLÖSUNG IN DER Z-ACHSE UND REDUZIERTEN HINTERGRUNDINFORMATION AUSSERHALB DER FOKUS EBENE MACHEN KONFOKALE AUFNAHMEN KLARER. VERGLEICH VON: A) WIDEFIELD FLUORESZENZMIKROSKOPISCHE AUFNAHME B) KONFOKAL FLUORESZENZMIKROSKOPISCHE AUFNAHME (QUELLE: CENTER FOR MICROSCOPY AND IMAGE ANALYSIS, UNIVERSITY OF ZÜRICH)	37
ABBILDUNG 15 VERSUCHSZAHN MIT MARKIERTEN AUFNAHMELOKALISATIONEN (SIEHE AUCH: ABBILDUNG 44 IM ANHANG SEITE 99)	38

ABBILDUNG 16 A) EMISSION DES RHODAMIN B IM DENTINADHÄSIV B) EMISSION DES FITC IM BOND, (GRUPPE I, VERSUCHSZAHN 12 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20), AUFNAHMELOKALISATION 1 (SIEHE ABBILDUNG 15 SEITE 38))	39
ABBILDUNG 17 A) ORIGINAL EMISSIONSAUFNAHME VOR DER BEARBEITUNG B) BEARBEITETES BILD NACH AUSSCHLUSS VON SCHICHTAUFLAGERUNGEN UND DER HYBRIDSCHICHT (GRUPPE I, VERSUCHSZAHN 12 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20), AUFNAHMELOKALISATION 2 (SIEHE ABBILDUNG 15 SEITE 38))	40
ABBILDUNG 18 A) POSITIONIERTER MESSRAHMEN 256 X 512 PIXEL B) AUFNAHMEN MIT ÜBERGÄNGEN ZUR AXIALEN WAND MIT JEWEILS ZWEI MESSRAHMEN (GRUPPE I, VERSUCHSZAHN 12 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20), AUFNAHMELOKALISATIONEN 1 + 2 (SIEHE ABBILDUNG 15 SEITE 38)).....	40
ABBILDUNG 19 Box-PLOT MIT PROZENTUALEM ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IN DEN GRUPPEN I-VII. ES GIBT AUSREISSER NACH OBEN UND AUSREISSER NACH UNTEN.....	42
ABBILDUNG 20 Box-PLOT MIT PROZENTUALEM ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "CERVICAL ENAMEL" IN DEN GRUPPEN I-VII. ES GIBT AUSREISSER NACH OBEN UND AUSREISSER NACH UNTEN, SOWIE EINE GROSSE STREUUNG IN DER GRUPPE 2. .	43
ABBILDUNG 21 Box-PLOT MIT PROZENTUALEM ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "CERVICAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII. ES GIBT AUSREISSER NACH OBEN UND AUSREISSER NACH UNTEN.	44
ABBILDUNG 22 Box-PLOT MIT PROZENTUALEM ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "AXIAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII. ES GIBT AUSREISSER NACH OBEN UND AUSREISSER NACH UNTEN.	45
ABBILDUNG 23 Box-PLOT MIT PROZENTUALEM ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "OCCLUSAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII. ES GIBT AUSREISSER NACH OBEN UND AUSREISSER NACH UNTEN.	46
ABBILDUNG 24 REM BILD DER SCHMELZSTUFE BEI 60FACHER VERGRÖSSERUNG MIT VERDACHT "POOLING" DES DENTINADHÄSIVSYSTEMS AN KONKAVER STELLE (ROTER PFEIL) UND SCHLECHTER INTERNER ADAPTATION NACH REINIGUNG MIT BIMSSTEIN (GRUPPE II, VERSUCHSZAHN 24 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	47
ABBILDUNG 25 REM BILD DER SCHMELZSTUFE BEI 60FACHER VERGRÖSSERUNG MIT GUTER INTERNER ADAPTATION NACH "CAVITY SEALING" (GRUPPE VI, VERSUCHSZAHN 62 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	47
ABBILDUNG 26 REM BILD DES ÜBERGANGES DER AXIALEN WAND ZUM STUFENBODEN BEI 200FACHER VERGRÖSSERUNG NACH REINIGUNG MIT BIMSSTEIN. VERDACHT AUF ÜBERRESTE DES TEMPORÄREN ZEMENTES UND DADURCH BEDINGTEN RANDSPALT (GRUPPE II, VERSUCHSZAHN 27 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20))	48
ABBILDUNG 27 REM BILD DER APPROXIMAL-ZERVIKALEN STUFE BEI A) 60FACHER VERGRÖSSERUNG UND B) 200FACHER VERGRÖSSERUNG NACH REINIGUNG DER KAVITÄT DURCH NACHFINIEREN. VERDACHT AUF ÜBERRESTE DES TEMPORÄREN ZEMENTES UND DADURCH BEDINGTEN RANDSPALT (GRUPPE V, VERSUCHSZAHN 58 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	48

ABBILDUNG 28	Box-Plot mit der Grauwertanalyse (prozentuale Flächendeckung der Pixel in Grauwerten) der a) Rhodamin B Messungen und b) Fluorescein Messungen in den zu "Cervical Dentin" zusammengefassten Messbereichen der Gruppen I-IV. Es gab Ausreisser nach oben bei Probennummer 33 und 7, sowie eine grosse Streuung in Gruppe VI	49
ABBILDUNG 29	Box-Plot mit der Grauwertanalyse (prozentuale Flächendeckung der Pixel in Grauwerten) der a) Rhodamin B Messungen und b) Fluorescein Messungen in den zu "Axial Dentin" zusammengefassten Messbereichen der Gruppen I-IV. Es gab einen Ausreisser nach oben bei Probennummer 28, sowie eine grosse Streuung in Gruppe 6.	50
ABBILDUNG 30	Box-Plot mit der Grauwertanalyse (prozentuale Flächendeckung der Pixel in Grauwerten) der a) Rhodamin B Messungen und b) Fluorescein Messungen in den zu "Occlusal Dentin" zusammengefassten Messbereichen der Gruppen I-IV. Es gab Ausreisser nach oben bei Probennummer 7, 13, 36 und 44.....	51
ABBILDUNG 31	a) Emission des Fluoresceins im Bond b) Emission des Rhodamin B im Dentinadhäsiv c) Reflexion der Probe d) Überlagerung der Reflexion mit der Emission des Rhodamin B und des Fluoresceins. (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe Tabelle 1 Seite 20), Aufnahme Lokalisation 1 (siehe Abbildung 15 Seite 38))	52
ABBILDUNG 32	Überlagerungsaufnahme der Emission von Rhodamin B und Fluorescein. Sichtbare Infiltration des Haftvermittlers in das demineralisierte, intertubuläre Dentin ("Resin Tags") und Bildung eines Hybridlayers (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe Tabelle 1 Seite 20), Aufnahme Lokalisation 1 (siehe Abbildung 15 Seite 38)).....	53
ABBILDUNG 33	Überlagerungsaufnahme der Emission von Rhodamin B und Fluorescein. Sichtbares Netzwerk der Seitenäste der Dentintubuli und Anastomosisierung. (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe Tabelle 1 Seite 20), Aufnahme Lokalisation 1 (siehe Abbildung 15 Seite 38))	53
ABBILDUNG 34	Überlagerung der Reflexion mit der Emission des Rhodamin B und des Fluoresceins. Sichtbares "Pooling" des Dentinadhäsivsystems an konkaver Stelle (roter Pfeil). Verdacht auf Überreste des temporären Zementes (gelbe Pfeile) nach Reinigung mit Bimsstein. (Gruppe II, Versuchszahn 25 (siehe Tabelle 1 Seite 20), Aufnahme Lokalisation 2 (siehe Abbildung 15 Seite 38)).....	54
ABBILDUNG 35	Bild der opto-elektronischen Abtastung des Gipsmodells	95
ABBILDUNG 36	a) CEREC Scanbild Ansicht von okklusal b) Scanbild Ansicht von okklusal mit eingezeichneter Kavitätenbegrenzung	95
ABBILDUNG 37	Modifizierter Inlay Konstruktionsvorschlag der CEREC Software. a) Ansicht von mesial b) Ansicht von okklusal c) Ansicht von distal	95
ABBILDUNG 38	Konstruiertes und virtuell eingesetztes Inlay a) Ansicht von mesial b) Ansicht von okklusal c) Ansicht von distal.....	96
ABBILDUNG 39	Konstruiertes Inlay mit Trennstelle und Anzeige der Grenzstärke von 1'000mm	96
ABBILDUNG 40	REM Bild der Dentinstufe bei 60facher Vergrößerung mit einem Lufteinschluss pulpoaxial als mögliches Artefakt bei der Replikaherstellung und einer Imperfektion	

	AM RESTAURATIONSRAND (GRUPPE I, VERSUCHSZAHN 14 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT.....	97
ABBILDUNG 41	REM BILD DER DENTINSTUFE BEI 60FACHER VERGRÖßERUNG MIT EINEM LUFTEINSCHLUSS PULPOAXIAL ALS MÖGLICHES ARTEFAKT BEI DER REPLIKAHERSTELLUNG (GRUPPE V, VERSUCHSZAHN 51 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT.....	97
ABBILDUNG 42	REM BILD DES OKKLUSALEN KAVITÄTENBODENS BEI 60FACHER VERGRÖßERUNG UND SICHTBARER SCHMELZINSEL (GRUPPE V, VERSUCHSZAHN 58 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	98
ABBILDUNG 43	REM BILD DES OKKLUSALEN KAVITÄTENBODENS BEI 60FACHER VERGRÖßERUNG UND SICHTBARER SCHMELZINSEL (GRUPPE VII, VERSUCHSZAHN 77 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)). LEGENDE: KER: KERAMIK, S: SCHMELZ, D: DENTIN, KO: KOMPOSIT	98
ABBILDUNG 44	VERSUCHSZAHN MIT MARKIERTEN AUFNAHMELOKALISATIONEN UND DAZUGEHÖRIGEN RHODAMIN B EMISSIONS-AUFNAHMEN (GRUPPE I, VERSUCHSZAHN 12 (SIEHE TABELLE 1 SEITE 20)).....	99

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 BESCHREIBUNG DER VERSUCHSGRUPPEN I-VII	20
TABELLE 2 FLUOROCHROME MIT ABSORPTIONS- UND EMISSIONS-MAXIMA.....	38
TABELLE 3 ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IN PROZENT (%) (MITTELWERT \pm STANDARDABWEICHUNG) ÜBER DEN GESAMTEN INNEREN FÜLLUNGSRAND IN DEN GRUPPEN I-VII.....	42
TABELLE 4 ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IN PROZENT (%) (MITTELWERT \pm STANDARDABWEICHUNG) IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "CERVICAL ENAMEL" IN DEN GRUPPEN I-VII.	43
TABELLE 5 ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IN PROZENT (%) (MITTELWERT \pm STANDARDABWEICHUNG) IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "CERVICAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII.....	44
TABELLE 6 ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IN PROZENT (%) (MITTELWERT \pm STANDARDABWEICHUNG) IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "AXIAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII.....	45
TABELLE 7 ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND IN PROZENT (%) (MITTELWERT \pm STANDARDABWEICHUNG) IM UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "OCCLUSAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII.	46
TABELLE 8 MEDIAN UND INTERQUARTILSABSTAND (IQR) IN PROZENT (%) DER A) RHODAMIN B MESSUNGEN UND B) FLUORESCEIN MESSUNGEN	49
TABELLE 9 MEDIAN UND INTERQUARTILSABSTAND (IQR) IN PROZENT (%) DER A) RHODAMIN B MESSUNGEN UND B) FLUORESCEIN MESSUNGEN	50
TABELLE 10 MEDIAN UND INTERQUARTILSABSTAND (IQR) IN PROZENT (%) DER A) RHODAMIN B MESSUNGEN B) FLUORESCEIN MESSUNGEN	51
TABELLE 11 PROZENTUALER WERT AN "KONTINUIERLICHEM RAND" CM PRO UNTERSUCHUNGSABSCHNITT UND VERSUCHSZAHN. PROZENTUALER ANTEIL DER EINZELNEN UNTERSUCHUNGSABSCHNITTE AM GESAMTEN INNEREN FÜLLUNGSRAND JEDES VERSUCHSZAHNES.	100
TABELLE 12 QUANTITATIVE MITTELWERTE DER GRAUSTUFENANALYSE FÜR DIE PENETRATION DES MIT FLUORESCEIN MARKIERTEN DENTINBOND UND DES MIT RHODAMIN B MARKIERTEN DENTINADHÄSIV, AUFGESCHLÜSSELT NACH PROBENBEZEICHNUNG UND MESSLOKALISATION.	101
TABELLE 13 POST-HOC-TEST NACH BONFERRONI FÜR DEN PROZENTUALEN ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND DES GESAMTEN INNEREN FÜLLUNGSRADES IN DEN GRUPPEN I-VII.	102
TABELLE 14 POST-HOC-TEST NACH BONFERRONI FÜR DEN PROZENTUALEN ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND AUF DER APPROXIMAL-ZERVIKALEN STUFE IM SCHMELZ, UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "CERVICAL ENAMEL" IN DEN GRUPPEN I-VII.	102
TABELLE 15 POST-HOC-TEST NACH BONFERRONI FÜR DEN PROZENTUALEN ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND AUF DER APPROXIMAL-ZERVIKALEN STUFE IM DENTIN, UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "CERVICAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII.	103
TABELLE 16 POST-HOC-TEST NACH BONFERRONI FÜR DEN PROZENTUALEN ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND APPROXIMAL-AXIAL IM DENTIN, UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "AXIAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII.	103
TABELLE 17 POST-HOC-TEST NACH BONFERRONI FÜR DEN PROZENTUALEN ANTEIL AN KONTINUIERLICHEM RAND AUF DEM OKKLUSALEN KAVITÄTENBODEN, UNTERSUCHUNGSABSCHNITT "OCCLUSAL DENTIN" IN DEN GRUPPEN I-VII.	104

TABELLE 18	NICHTPARAMETRISCHE VARIANZANALYSE (KRUSKAL-WALLIS-TEST) FÜR RHODAMIN B UND FLUORESCEIN DER ZUM BEREICH "CERVICAL DENTIN" ZUSAMMENGEFASSTEN MESSUNGEN.....	105
TABELLE 19	NICHTPARAMETRISCHE VARIANZANALYSE (KRUSKAL-WALLIS-TEST) FÜR RHODAMIN B UND FLUORESCEIN DER ZUM BEREICH "AXIAL DENTIN" ZUSAMMENGEFASSTEN MESSUNGEN.....	106
TABELLE 20	NICHTPARAMETRISCHE VARIANZANALYSE (KRUSKAL-WALLIS-TEST) FÜR RHODAMIN B UND FLUORESCEIN DER ZUM BEREICH "OCCLUSAL DENTIN" ZUSAMMENGEFASSTEN MESSUNGEN.	107

Anhang

Abbildungen

CEREC

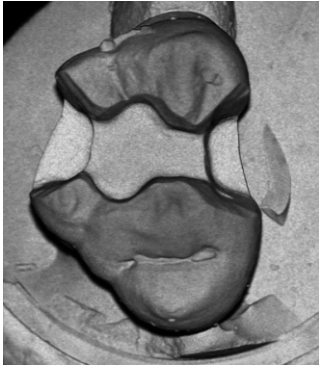
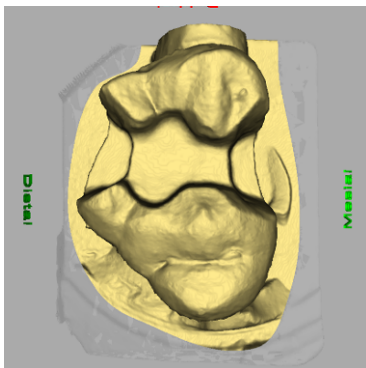
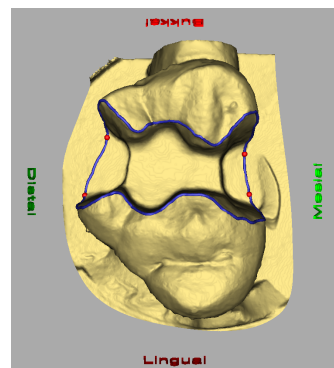


Abbildung 35 Bild der opto-elektronischen Abtastung des Gipsmodelles

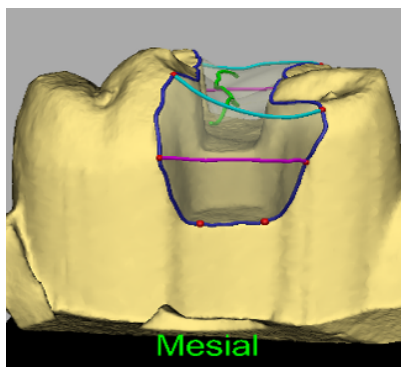


a)

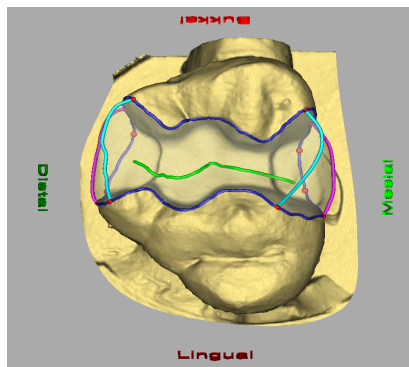


b)

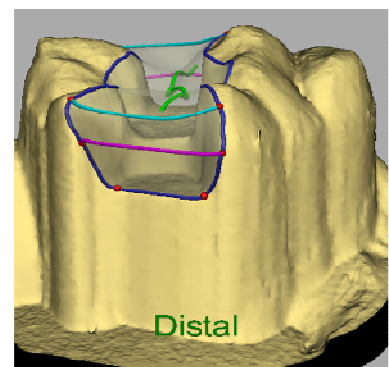
Abbildung 36 a) CEREC Scanbild Ansicht von okklusal b) Scanbild Ansicht von okklusal mit eingezeichneter Kavitätenbegrenzung



a)



b)



c)

Abbildung 37 Modifizierter Inlay Konstruktionsvorschlag der CEREC Software. a) Ansicht von mesial b) Ansicht von okklusal c) Ansicht von distal

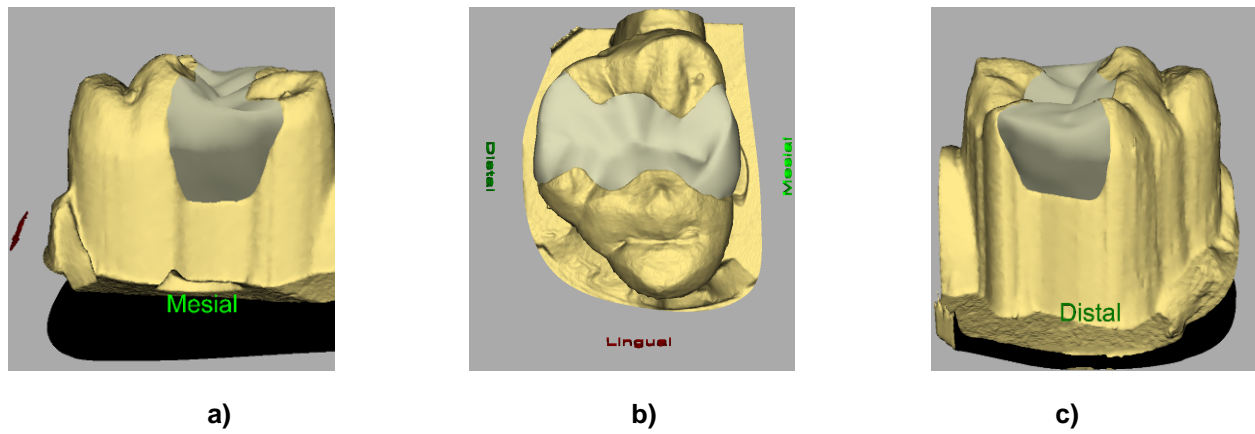


Abbildung 38 Konstruiertes und virtuell eingesetztes Inlay a) Ansicht von mesial b) Ansicht von okklusal c) Ansicht von distal

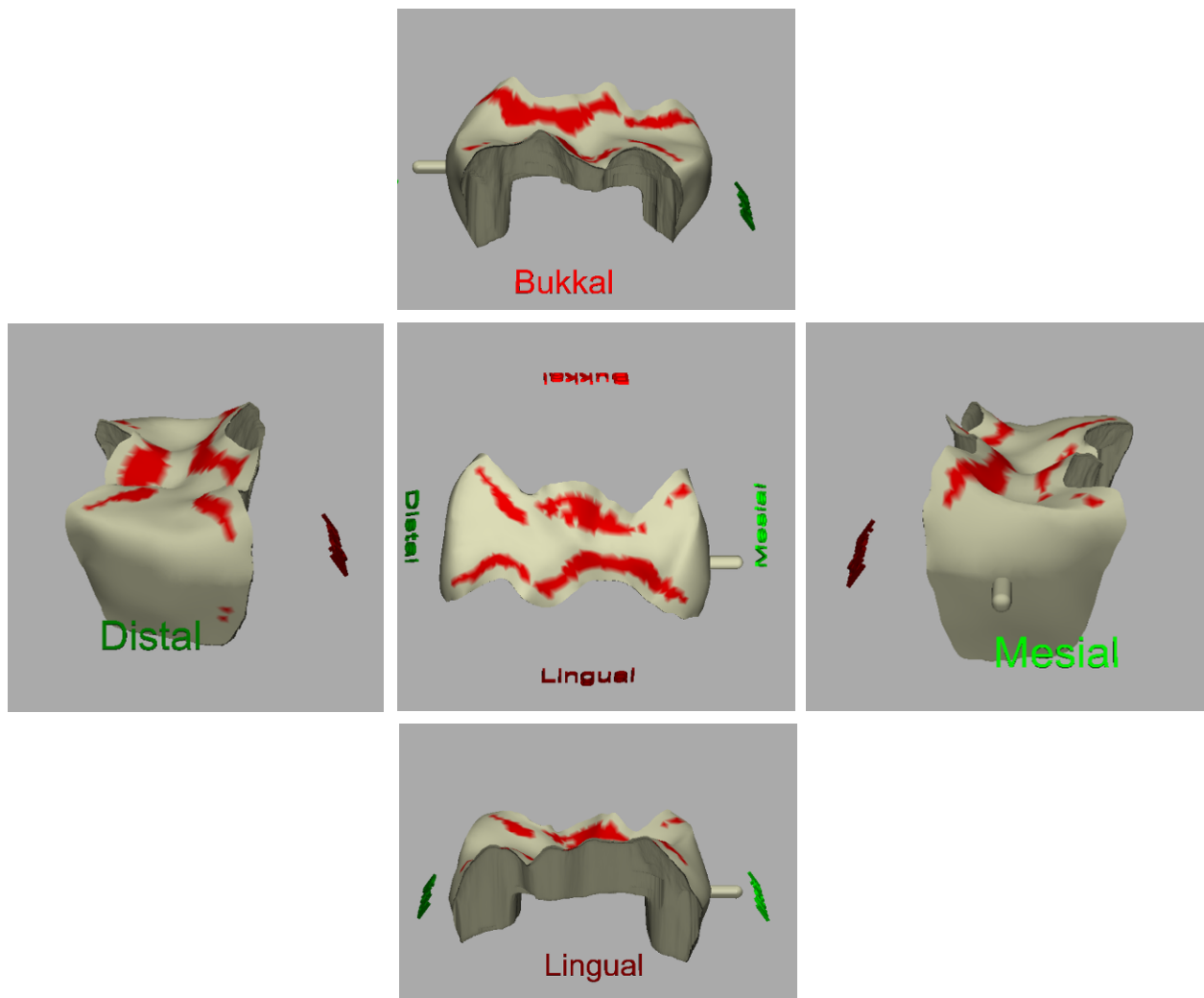


Abbildung 39 Konstruiertes Inlay mit Trennstelle und Anzeige der Grenzstärke von 1'000µm

Mikromorphologie in der Raster-Elektronen-Mikroskopie

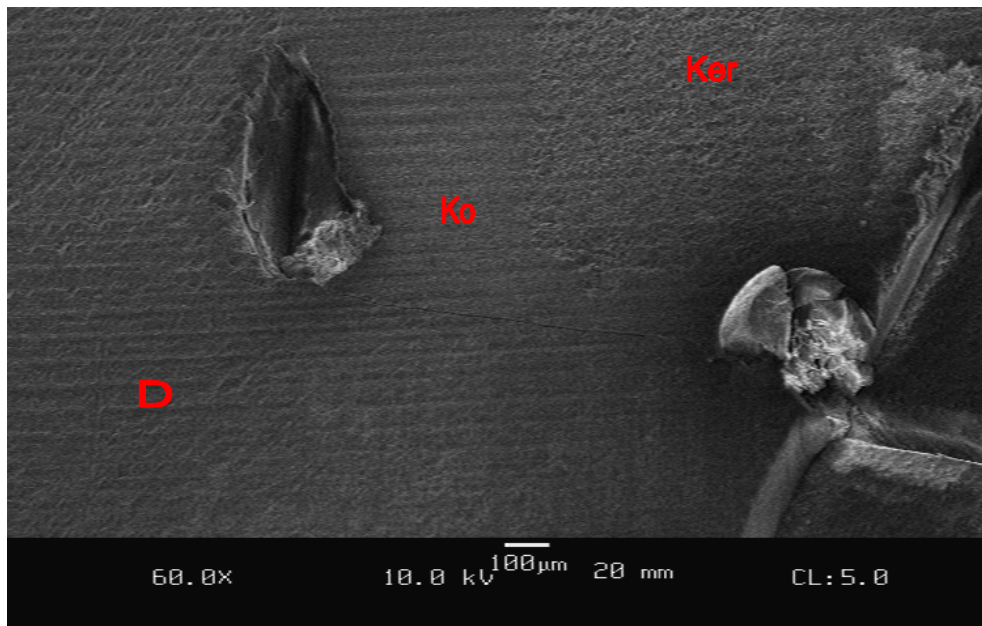


Abbildung 40 REM Bild der Dentinstufe bei 60facher Vergrößerung mit einem Lufteinschluss pulpoaxial als mögliches Artefakt bei der Replikaherstellung und einer Imperfektion am Restaurationsrand (Gruppe I, Versuchszahn 14 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, D: Dentin, Ko: Komposit

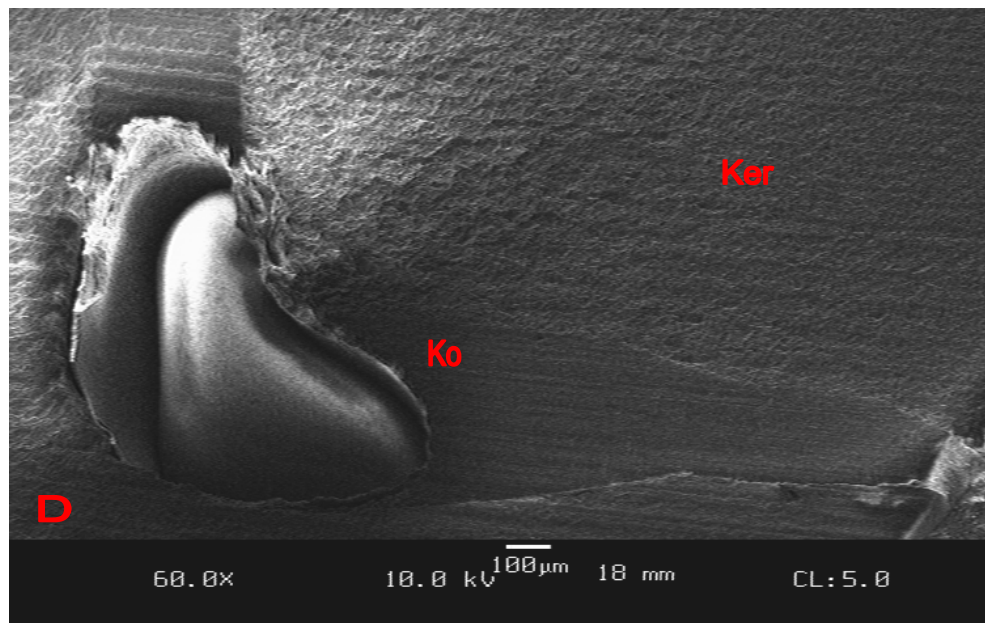


Abbildung 41 REM Bild der Dentinstufe bei 60facher Vergrößerung mit einem Lufteinschluss pulpoaxial als mögliches Artefakt bei der Replikaherstellung (Gruppe V, Versuchszahn 51 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, D: Dentin, Ko: Komposit

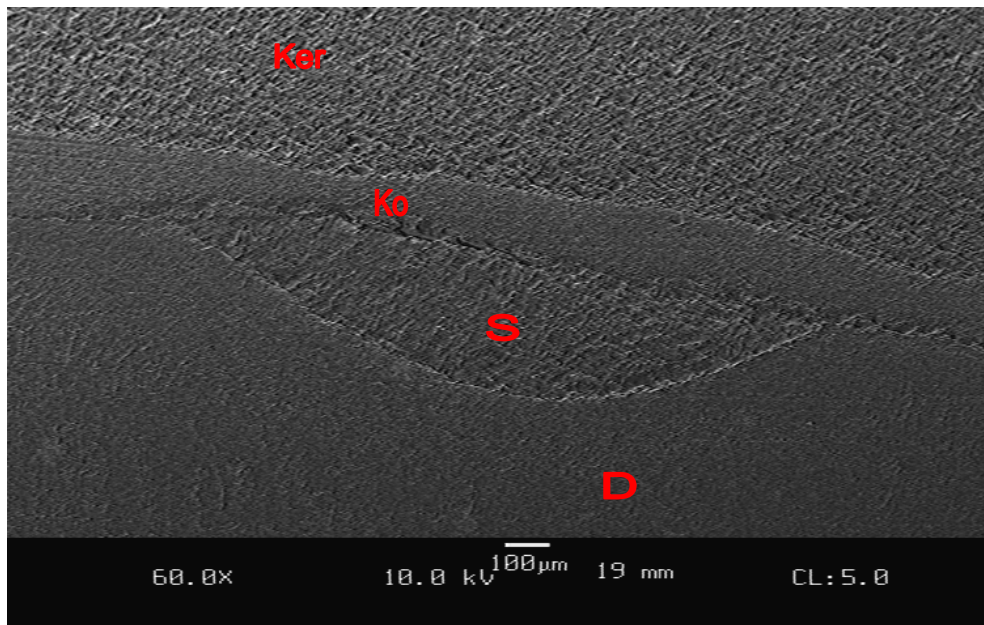


Abbildung 42 REM Bild des okklusalen Kavitätenbodens bei 60facher Vergrößerung und sichtbarer Schmelzinsel (Gruppe V, Versuchszahn 58 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

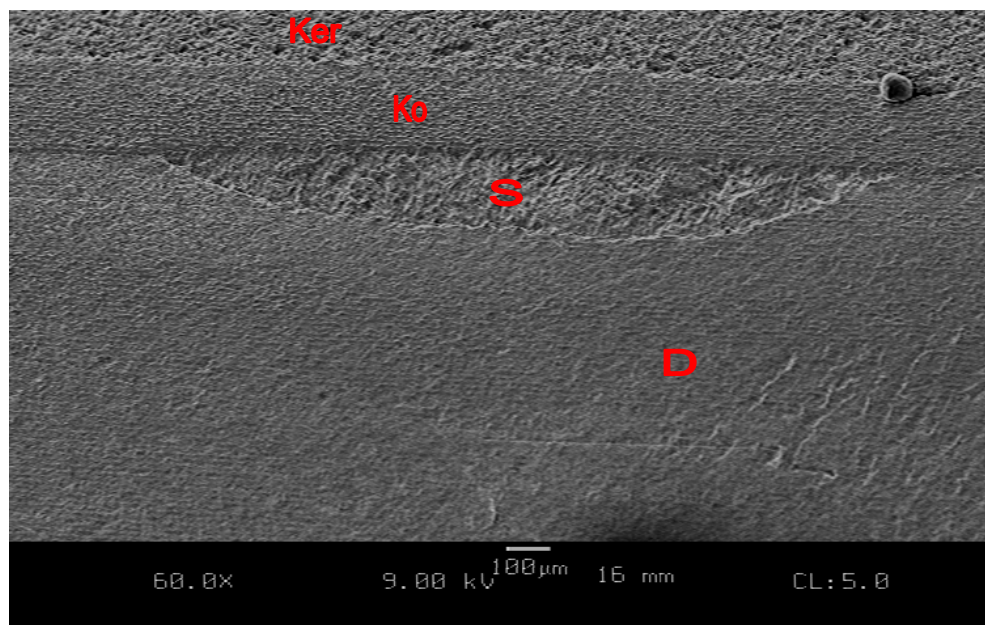


Abbildung 43 REM Bild des okklusalen Kavitätenbodens bei 60facher Vergrößerung und sichtbarer Schmelzinsel (Gruppe VII, Versuchszahn 77 (siehe **Tabelle 1** Seite 20)). Legende: Ker: Keramik, S: Schmelz, D: Dentin, Ko: Komposit

Mikromorphologie in der konfokalen Laser-Raster-Mikroskopie (CLSM)

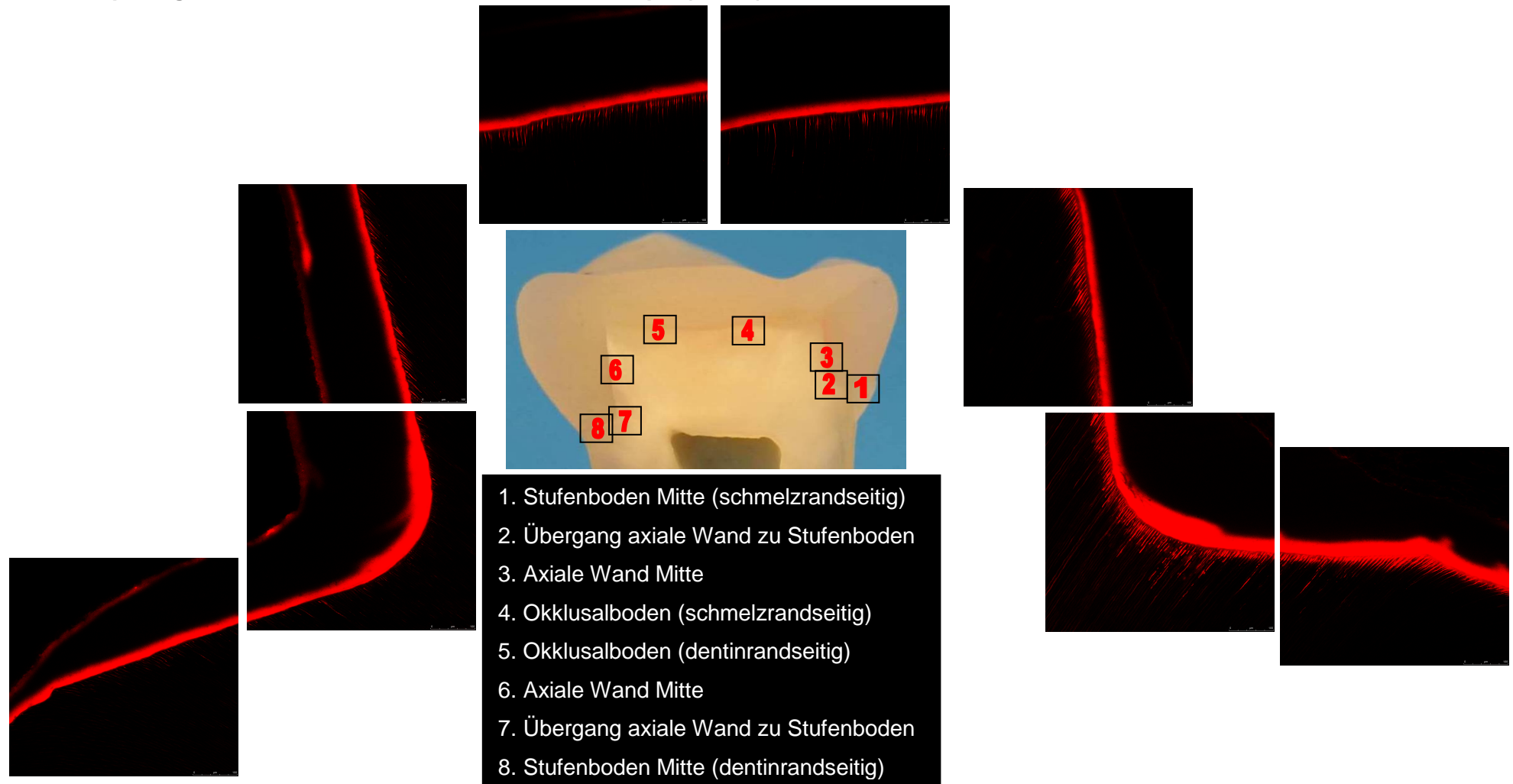


Abbildung 44 Versuchszahn mit markierten Aufnahmeloaktionen und zugehörigen Rhodamin B Emissions-Aufnahmen (Gruppe I, Versuchszahn 12 (siehe Tabelle 1 Seite 20))

Tabellen

Resultate REM

Tabelle 11 Prozentualer Wert an "Kontinuierlichem Rand" CM pro Untersuchungsabschnitt und Versuchszahn. Prozentualer Anteil der einzelnen Untersuchungsabschnitte am gesamten inneren Füllungsrand jedes Versuchszahnes.

PNr	Gruppe	Zahn	REMCervEnamel	REMOcclusal	REMAxialDentin	REMCervDentin	REMTotale	REMPcervEnamel	REMPocclusal	REMPAxialDentin	REMPcervDentin
11	1	1	88.622	86.873	68.307	12.614	65.67	4.083	42.294	33.298	20.324
12	1	2	53.467	55.646	59.44	38.601	53.76	6.524	42.342	33.455	17.679
13	1	3	21.761	69.268	31.527	24.286	46.52	1.571	45.139	27.198	26.091
14	1	4	100	37.009	47.916	18.818	37.861	1.89	44.628	32.27	21.211
15	1	5	100	65.865	82.619	35.831	69.618	5.592	43.294	36.753	14.361
16	1	6	65.052	93.371	75.982	30.693	75.883	3.075	46.343	33.312	17.27
17	1	7	24.432	82.291	80.096	21.482	68.492	2.22	37.281	41.415	19.084
18	1	8	44.913	52.136	58.572	4.27	46.646	1.56	48.249	34.34	15.851
21	2	1	0	40.945	14.923	6.769	27.758	0.8	55.347	26.09	17.763
22	2	2	28.64	41.331	39.434	27.202	37.375	2.449	42.492	33.799	21.26
23	2	3	16.526	23.937	19.852	17.32	21.248	2.426	46.645	34.002	16.926
24	2	4	66.245	19.78	15.805	13.977	19.221	3.979	44.265	32.6	19.157
25	2	5	71.468	72.281	18.224	1.379	36.684	2.596	36.865	43.618	16.92
26	2	6	100	38.378	48.276	15.764	43.476	4.963	42.187	43.034	9.816
27	2	7	27.221	49.63	34.987	11.037	35.406	4.865	38.059	37.135	19.941
28	2	8	100	44.152	40.396	34.393	43.446	3.896	43.379	37.719	15.006
31	3	1	48.083	23.955	31.061	23.211	26.724	2.216	46.541	33.327	17.917
32	3	2	4.61	61.442	64.863	22.244	57.501	2.578	45.905	41.573	9.945
33	3	3	72.487	53.766	55.885	58.798	56.031	4.813	49.653	31.84	13.693
34	3	4	100	79.229	58.267	63.884	70.762	4.824	46.258	34.94	13.977
35	3	5	100	98.145	91.855	63.963	91.414	7.212	39.206	41.052	12.529
36	3	6	100	92.046	75.501	51.707	77.489	3.211	34.36	43.589	18.841
37	3	7	100	92.44	75.213	61.61	80.6	1.953	45.442	31.1	21.504
38	3	8	100	75.53	85.784	38.39	74.944	3.434	36.221	44.278	16.067
41	4	1	0	31.97	65.082	13.028	38.885	0.975	41.663	34.756	22.606
42	4	2	59.24	24.773	30.156	11.578	27.35	6.318	43.867	37.531	12.285
43	4	3	76.961	65.419	64.147	43.349	62.525	3.951	51.729	30.922	13.398
44	4	4	100	45.933	61.602	23.313	48.618	5.857	48.03	25.984	20.13
45	4	5	100	89.862	60.168	36.041	70.366	3.575	40.199	43.12	13.106
46	4	6	100	92.44	46.377	20.303	63.922	5.503	39.481	41.243	13.774
47	4	7	100	86.289	72.955	52.146	77.086	4.201	49.208	29.452	17.139
48	4	8	100	79.499	86.828	32.528	76.776	4.067	45.711	36.892	13.329
51	5	1	27.768	70.937	57.755	27.925	57.392	2.42	45.56	33.103	18.917
52	5	2	75.4	66.033	77.575	46.778	67.068	9.269	48.586	26.893	15.253
53	5	3	68.197	51.49	62.088	13.183	48.013	2.614	42.421	35.051	19.913
54	5	4	83.132	63.32	70.127	8.946	59.189	4.056	56.006	27.429	12.509
55	5	5	87.544	96.021	81.987	63.73	82.844	2.849	33.706	41.363	22.082
56	5	6	100	90.442	58.966	49.014	71.398	2.289	41.382	40.93	15.399
57	5	7	46.526	90.662	88.14	23.782	79.328	6.133	50.019	32.161	11.687
58	5	8	89.223	87.177	53.189	37.03	66.156	3.671	42.191	37.453	16.685
61	6	1	100	38.299	73.733	21.133	52.379	2.931	43.231	40.9	12.938
62	6	2	93.031	86.195	91.664	54.368	79.114	2.675	35.153	33.579	28.594
63	6	3	92.981	80.955	89.103	21.354	73.091	6.323	51.086	24.738	17.853
64	6	4	80.6	97.676	100	37.514	89.038	1.205	46.678	36.683	15.434
65	6	5	90.415	85.904	71.439	57.169	77.532	3.495	49.416	35.047	12.042
66	6	6	83.194	78.409	86.964	63.504	78.94	3.004	40.015	37.854	19.127
67	6	7	93.1	77.191	86.409	52.71	78.039	7.239	46.633	32.611	13.518
68	6	8	80.921	84.7	95.473	65.503	85.757	4.461	44.568	36.736	14.235
71	7	1	100	87.656	89.377	35.587	80.052	2.492	47.267	33.925	16.316
72	7	2	100	82.97	64.017	11.335	66.783	2.112	48.536	35.699	13.654
73	7	3	100	96.207	88.259	88.493	92.883	3.805	52.14	29.966	14.088
74	7	4	76.423	96.748	69.872	46.115	82.094	2.319	50.014	41.892	5.774
75	7	5	100	99.763	77.284	18.661	75.652	3.119	39.143	38.736	19.002
76	7	6	100	88.107	36.482	4.039	58.081	2.287	47.051	37.891	12.771
77	7	7	100	90.674	29.71	30.67	62.019	2.69	49.77	39.548	7.992
78	7	8	84.093	78.393	79.294	34.144	72.621	3.202	50.826	31.868	14.104

Resultate CLSM

Tabelle 12 Quantitative Mittelwerte der Graustufenanalyse für die Penetration des mit Fluorescein markierten Dentinbond und des mit Rhodamin B markierten Dentinadhäsiv, aufgeschlüsselt nach Probenbezeichnung und Messlokalisation.

PNr	Gruppe	Zahn	R1 StufeS	R2 Ü Stufe	R2 Ü Axial	R3 Axial	R4 Occlusal	R5 Occlusal	R6 Axial	R7 Ü Axial	R7 Ü Stufe	R8 StufeD	F1 StufeS	F2 Ü Stufe	F2 Ü Axial	F3 Axial	F4 Occlusal	F5 Occlusal	F6 Axial	F7 Ü Axial	F7 Ü Stufe	F8 StufeD
11	1	1	11.948	13.295	13.447	9.99	13.219	16.694	30.372	8.581	7.644	11.403	8.463	11.783	9.719	10.33	8.741	7.711	30.128	15.634	13.114	12.842
12	1	2	32	31.631	31.977	22.407	10.813	10.965	9.481	7.15	6.495	6.132	23.58	11.609	15.412	12.978	7.551	4.779	9.056	6.455	10.136	7.433
13	1	3	8.712	6.886	8.485	5.503	3.334	3.745	4.994	4.308	4.592	2.885	9.107	6.204	7.987	9.422	8.32	9.342	7.84	2.461	4.929	6.556
14	1	4	14.56	8.128	13.248	10.765	9.049	5.041	8.463	3.149	3.658	3.909	7.627	8.231	10.915	8.732	7.81	5.686	5.107	4.205	3.8	5.071
15	1	5	7.713	6.95	11.747	20.099	10.94	6.794	14.273	20.375	21.021	7.768	12.215	9.671	13.499	24.201	12.069	10.253	18.565	15.077	14.144	21.266
16	1	6	17.354	12.465	10.739	7.637	12.624	11.892	15.113	22.319	25.543	8.722	14.487	16.035	14.251	24.196	12.428	15.736	49.027	8.174	12.898	12.065
17	1	7	3.589	4.036	3.536	4.894	8.143	3.17	6.111	3.857	3.818	4.604	20.23	36.887	44.922	35.509	33.275	34.444	43.174	31.207	35.009	28.851
18	1	8	3.698	13.344	4.481	19.465	4.888	3.383	8.669	10.174	9.686	6.078	8.905	36.161	21.179	31.583	5.748	17.316	19.408	5.021	6.577	17.07
21	2	1	6.056	11.105	8.939	7.421			9.789	8.016	11.825	3.187	3.259	6.628	4.224	5.78			11.106	5.468	5.605	5.519
22	2	2	2.871	2.849	2.637	2.63	2.108		7.191	2.964	2.249	2.171	10.802	5.655	5.421	9.381	7.808		21.965	7.454	6.301	6.152
23	2	3	2.127	2.643	2.316	2.409			3.172	4.271	3.838	2.304	8.847	6.727	6.818	5.978			5.74	9.028	9.07	4.248
24	2	4	2.202	1.814	1.764	1.438	1.313	1.665	2.712	1.561	1.802	1.877	7.789	3.229	3.563	6.249	3.952	4.317	6.426	6.544	3.659	8.531
25	2	5	15.254	4.163	4.347	2.903	7.284	19.17	5.229	5.436	4.8	5.876	18.223	10.634	10.229	5.089	18.428	17.012	17.082	11.795	12.356	10.367
26	2	6	12.384	6.916	6.493	20.925	4.466	2.475	6.879	10.886	14.524	5.429	23.188	17.099	16.528	31.228	18.068	15.542	30.448	24.953	31.873	20.088
27	2	7	11.523	5.397	10.044	10.264	3.668	6.151	5.775	7.48	7.743	4.865	32.822	33.219	28.881	22.516	45.595	15.487	18.192	16.13	25.883	18.18
28	2	8	3.002	3.488	3.5	3.806	3.271	4.949	6.808	5.738	3.8	6.973	19.987	9.656	8.735	18.283	27.464	24.162	16.802	11.067	3.866	15.32
31	3	1	2.213	1.352	1.561	2.375	1.823	7.672	3.432	5.236	3.849	2.173	5.023	2.872	1.935	5.676	8.616	23.27	8.591	4.49	3.662	7.029
32	3	2	5.657	10.74	13.301	6.882	8.554	14.451	11.19	8.093	10.779	11.67	2.273	7.779	10.157	7.269	6.676	14.536	7.852	5.135	6.931	8.571
33	3	3	3.776	3.628	2.964	3.959	4.613	4.563	5.051	12.653	11.907	5.94	13.928	16.308	10.357	19.807	18.152	18.486	21.806	26.661	24.172	22.147
34	3	4	14.646	5.507	4.724	4.43	3.459	3.829	8.177	6.728	6.484	5.531	29.656	23.974	18.496	22.13	19.909	23.726	41.853	22.59	22.001	16.512
35	3	5	2.973	2.823	1.486	3.209	2.256	2.546	2.052	4.374	4.222	2.38	10.966	13.577	7.236	14.412	15.878	11.329	16.641	19.601	21.509	17.522
36	3	6	6.501	6.442	8.219	11.308	5.263	4.192	5.263	22.792	17.476	17.663	20.486	17.779	20.55	15.125	13.489	13.863	15.34	12.227	12.239	
37	3	7	5.926	2.653	3.127	4.079	3.067	3.337	2.321	9.391	6.963	3.94	29.063	23.992	26.983	75.109	10.779	11.712	13.08	10.746	10.21	11.333
38	3	8	4.394	2.403	4.183	2.121	5.476	7.734	10.164	10.604	12.741	23.525	10.919	19.319	17.217	32.481	11.829	8.701	27.044	25.862	25.617	25.462
41	4	1	10.821	11.329	7.421	8.19	9.94	6.101	5.461	4.91	5.474	4.525	8.996	5.293	6.779	7.615	8.17	11.357	8.977	11.268	5.625	
42	4	2	8.91	3.717	2.957	2.093	5.534	4.5	2.319	1.611	2.25	2.519	5.824	10.348	10.688	9.949	12.609	4.396	10.282	9.493	9.912	8.41
43	4	3	4.481	5.873	4.652	4.741	7.164	19.608	6.256	6.42	7.046	4.391	15.927	16.55	14.638	19.257	37.074	30.648	20.636	17.725	21.952	11.41
44	4	4	22.93	17.824	16.751	13.866	15.049	7.561	5.847	13.436	10.948	10.389	30.299	29.827	23.708	23.276	61.784	24.544	29.032	47.221	47.549	38.86
45	4	5	10.434	6.141	4.039	2.43	10.597	8.609	2.861	11.203	9.934	9.004	36.092	24.226	21.57	13.338	27.784	23.519	22.952	19.565	21.166	14.379
46	4	6	18.1	15.393	11.153	13.313	14.768	3.689	4.33	8.426	8.976	5.334	17.873	23.706	21.71	17.175	25.038	18.549	13.915	24.466	27.477	13.274
47	4	7	11.031	7.342	8.008	24.513	4.752	2.909	7.302	6.838	6.901	4.798	17.741	21.934	18.777	24.966	17.465	16.037	20.751	20.639	21.402	14.315
48	4	8	3.737	3.53	2.065	1.163	0.612	1.493	2.165	3.771	4.939	4.943	15.334	18.975	17.814	21.019	14.713	17.643	17.528	18.308	21.303	18.182
51	5	1	81.814	16.409	15.463	14.777	9.817	7.211	12.738	15.651	13.169	32.041	15.413	10.307	10.7	12.78	16.28	14.733	15.816	5.15	3.65	6.793
52	5	2	11.594	21.913	18.33	30.212		14.155	10.35	1.851	2.423	1.756	7.708	6.257	5.543	15.919		13.098	9.509	4.523	5.605	5.734
53	5	3	7.009	4.202	4.221	4.214	12.342	16.625	10.201	13.265	11.693	13.172	27.884	14.149	14.76	17.255	27.787	19.565	24.724	24.66	20.583	20.17
54	5	4	6.727	6.322	6.391	9.076	9.653	8.39	7.535	7.801	7.827	8.183	23.309	26.659	29.841	34.086	33.422	34.069	26.073	18.784	17.134	22.482
55	5	5	7.594	4.744	4.302	2.588	3.034	2.889	3.676	5.476	5.118	2.794	15.203	12.719	14.221	13.716	21.953	17.079	18.203	15.419	17.89	11.391
56	5	6	2.442	1.978	2.838	1.645	1.703	1.546	1.642	3.704	3.137	3.278	9.269	7.202	10.637	8.48	12.309	16.042	5.247	11.646	9.351	14.89
57	5	7	4.124	2.382	2.486	4.071	3.644	3.2	5.082	5.033	4.157	3.376	8.508	5.667	5.075	14.44	12.992	10.311	17.605	10.511	7.116	8.333
58	5	8	1.909	1.1	1.014	1.213	3.593	2.801	4.606	4.205	3.91	2.899	8.096	9.242	8.423	15.77	16.022	12.999	16.794	18.737	17.018	21.097
61	6	1	7.098	7.881	8.215	8.026	6.068	5.532	18.415	19.201	23.321	26.187	8.976	11.596	9.709	8.464	6.722	7.805	14.975	5.002	5.374	5.019
62	6	2	4.414	2.645	2.919	2.285	3.578	3.358	6.828	2.35	14.489	9.487	10.026	7.068	11.142	13.001	13.233	13.233	8.152	8.876	9.393	
63	6	3	56.403	69.909	78.871	63.656	41.287	101.953	105.823	94.575	130.395	23.636	25.282	28.357	28.062	23.909		32.01	26.011	19.839	35.702	
64	6	4	65.857	57.711	57.771	23.456	93.854	27.801	34.332	144.756	145.279	56.27	30.145	21.814	18.374	6.371	37.644	11.963	18.291	75.486	71.707	21.65
65	6	5	2.656	4.456	3.26	6.733		3.296	9.639	10.621	5.252	2.816	11.064	11.053	11.179	17.277		10.999	12.738	9.415	15.219	14.388
66	6	6	2.127	4.099	3.239	3.379	2.287	2.946	3.533	4.338	2.621	10.518	24.291	16.568	19.88	7.301	15.144	12.264	21.209	18.772	9.759	
67	6	7	2.031	2.033	1.871	2.658	2.113	4.432	4.853	9.838	7.636	4.951	13.133	9.15	9.463	16.371	12.712	12.738	11.632	38.774	23.899	21.771
68	6	8	2.448	3.503	3.275	3.814	6.615	3.884	4.597	6.384	6.609	6.433	29.137	16.815	15.181	19.258	31.589	20.392	24.045	31.551	47.676	42.865
71	7	1	5.647	4.929	4.577	5.555	5.576	5.523	4.52	6.648	5.523	4.52	9.796	7.645	6.838	12.531	8.886	10.528	8.833	7.877	8.359	
72	7	2	12.267	8.795	8.946	3.006	4.952	4.616	5.104	4.217	3.977	6.936	9.112	17.818	11.797	11.722	9.822	11.088	14.054	12.107	10.849	17.852
73	7	3	5.165	4.652	3.909	3.701	6.912	5.956	9.768	6.557	5.089	6.417	17.637	22.151	19.641	15.72	10.176	26.187	24.673	16.508	12.482	18.124
74	7	4	9.835	10.044	10.321	5.942	12.407	7.119	4.057	4.539	4.395	5.032	28.071	16.371	15.981	20.156	22.012	34.908	15.337	16.991	14.913	18.806
75	7	5	5.989	6.155	3.333	1.278	15.11	7.304														

Statistische Auswertung

Raster-Elektronen-Mikroskop

Tabelle 13 Post-Hoc-Test nach Bonferroni für den prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand des gesamten inneren Füllungsrandes in den Gruppen I-VII.

Test de Bonferroni/Dunn pour REMTotal

Effet : Groupe

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
1, 2	24.979	22.587	.0009	S
1, 3	-8.877	22.587	.2139	
1, 4	-.135	22.587	.9848	
1, 5	-8.367	22.587	.2409	
1, 6	-18.680	22.587	.0108	
1, 7	-15.717	22.587	.0304	
2, 3	-33.856	22.587	<.0001	S
2, 4	-25.114	22.587	.0008	S
2, 5	-33.347	22.587	<.0001	S
2, 6	-43.660	22.587	<.0001	S
2, 7	-40.696	22.587	<.0001	S
3, 4	8.742	22.587	.2208	
3, 5	.510	22.587	.9427	
3, 6	-9.803	22.587	.1706	
3, 7	-6.840	22.587	.3366	
4, 5	-8.232	22.587	.2485	
4, 6	-18.545	22.587	.0113	
4, 7	-15.582	22.587	.0318	
5, 6	-10.313	22.587	.1498	
5, 7	-7.350	22.587	.3022	
6, 7	2.963	22.587	.6760	

Les comparaisons dans ce tableau ne sont pas significatives à moins que la valeur de p correspondante soit inférieure à .0024.

Tabelle 14 Post-Hoc-Test nach Bonferroni für den prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand auf der approximal-zervikalen Stufe im Schmelz, Untersuchungsabschnitt "cervical enamel" in den Gruppen I-VII.

Test de Bonferroni/Dunn pour REMCervEnamel

Effet : Groupe

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
1, 2	11.018	45.728	.4437
1, 3	-15.867	45.728	.2716
1, 4	-17.244	45.728	.2327
1, 5	-9.943	45.728	.4892
1, 6	-26.999	45.728	.0644
1, 7	-32.784	45.728	.0259
2, 3	-26.885	45.728	.0655
2, 4	-28.263	45.728	.0533
2, 5	-20.961	45.728	.1482
2, 6	-38.018	45.728	.0104
2, 7	-43.802	45.728	.0035
3, 4	-1.378	45.728	.9235
3, 5	5.924	45.728	.6799
3, 6	-11.133	45.728	.4390
3, 7	-16.917	45.728	.2415
4, 5	7.301	45.728	.6112
4, 6	-9.755	45.728	.4974
4, 7	-15.539	45.728	.2815
5, 6	-17.057	45.728	.2377
5, 7	-22.841	45.728	.1159
6, 7	-5.784	45.728	.6870

Les comparaisons dans ce tableau ne sont pas significatives à moins que la valeur de p correspondante soit inférieure à .0024.

Tabelle 15 Post-Hoc-Test nach Bonferroni für den prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand auf der approximal-zervikalen Stufe im Dentin, Untersuchungsabschnitt "cervical dentin" in den Gruppen I-VII.

Test de Bonferroni/Dunn pour REMCervDentin

Effet : Groupe

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
1, 2	7.344	27.924	.4034	
1, 3	-24.651	27.924	.0067	
1, 4	-5.711	27.924	.5153	
1, 5	-10.474	27.924	.2351	
1, 6	-23.332	27.924	.0101	
1, 7	-10.306	27.924	.2426	
2, 3	-31.996	27.924	.0006	S
2, 4	-13.056	27.924	.1405	
2, 5	-17.818	27.924	.0463	
2, 6	-30.677	27.924	.0009	S
2, 7	-17.650	27.924	.0483	
3, 4	18.940	27.924	.0346	
3, 5	14.177	27.924	.1102	
3, 6	1.319	27.924	.8803	
3, 7	14.345	27.924	.1061	
4, 5	-4.763	27.924	.5872	
4, 6	-17.621	27.924	.0486	
4, 7	-4.595	27.924	.6004	
5, 6	-12.858	27.924	.1464	
5, 7	.168	27.924	.9847	
6, 7	13.026	27.924	.1414	

Les comparaisons dans ce tableau ne sont pas significatives à moins que la valeur de p correspondante soit inférieure à .0024.

Tabelle 16 Post-Hoc-Test nach Bonferroni für den prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand approximal-axial im Dentin, Untersuchungsabschnitt "axial dentin" in den Gruppen I-VII.

Test de Bonferroni/Dunn pour REMAxialDentin

Effet : Groupe

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
1, 2	34.070	26.416	.0001	S
1, 3	-4.246	26.416	.6088	
1, 4	2.143	26.416	.7960	
1, 5	-5.671	26.416	.4947	
1, 6	-23.791	26.416	.0058	
1, 7	-3.730	26.416	.6530	
2, 3	-38.316	26.416	<.0001	S
2, 4	-31.927	26.416	.0003	S
2, 5	-39.741	26.416	<.0001	S
2, 6	-57.861	26.416	<.0001	S
2, 7	-37.800	26.416	<.0001	S
3, 4	6.389	26.416	.4420	
3, 5	-1.425	26.416	.8635	
3, 6	-19.544	26.416	.0217	
3, 7	.517	26.416	.9503	
4, 5	-7.814	26.416	.3478	
4, 6	-25.934	26.416	.0028	
4, 7	-5.873	26.416	.4796	
5, 6	-18.120	26.416	.0327	
5, 7	1.941	26.416	.8148	
6, 7	20.061	26.416	.0186	

Les comparaisons dans ce tableau ne sont pas significatives à moins que la valeur de p correspondante soit inférieure à .0024.

Tabelle 17 Post-Hoc-Test nach Bonferroni für den prozentualen Anteil an kontinuierlichem Rand auf dem okklusalen Kavitätenboden, Untersuchungsabschnitt "occlusal dentin" in den Gruppen I-VII.

Test de Bonferroni/Dunn pour REMOcclusal

Effet : Groupe

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
1, 2	26.503	30.842	.0082	
1, 3	-4.262	30.842	.6599	
1, 4	3.284	30.842	.7344	
1, 5	-9.203	30.842	.3437	
1, 6	-10.859	30.842	.2647	
1, 7	-22.257	30.842	.0250	
2, 3	-30.765	30.842	.0024	
2, 4	-23.219	30.842	.0196	
2, 5	-35.706	30.842	.0005	S
2, 6	-37.362	30.842	.0003	S
2, 7	-48.760	30.842	<.0001	S
3, 4	7.546	30.842	.4368	
3, 5	-4.941	30.842	.6100	
3, 6	-6.597	30.842	.4963	
3, 7	-17.996	30.842	.0675	
4, 5	-12.487	30.842	.2006	
4, 6	-14.143	30.842	.1481	
4, 7	-25.542	30.842	.0107	
5, 6	-1.656	30.842	.8641	
5, 7	-13.054	30.842	.1812	
6, 7	-11.399	30.842	.2420	

Les comparaisons dans ce tableau ne sont pas significatives à moins que la valeur de p correspondante soit inférieure à .0024.

Konfokales Laser-Raster-Mikroskop

Tabelle 18 Nichtparametrische Varianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) für Rhodamin B und Fluorescein der zum Bereich "Cervical Dentin" zusammengefassten Messungen.

Ränge			
	Gruppe	N	Mittlerer Rang
RmeanCervDent	1	8	37.38
	2	8	20.75
	3	8	28.00
	4	8	31.88
	5	8	24.75
	6	8	28.38
	7	8	28.38
	Gesamt	56	
FmeanCervDent	1	8	24.50
	2	8	20.75
	3	8	29.88
	4	8	35.75
	5	8	24.00
	6	8	35.25
	7	8	29.38
	Gesamt	56	

Statistik für Test ^{a,b}		
	RmeanCervDent	FmeanCervDent
Chi-Quadrat	4.949	5.928
df	6	6
Asymptotische Signifikanz	.550	.431

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppe

Tabelle 19 Nichtparametrische Varianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) für Rhodamin B und Fluorescein der zum Bereich "Axial Dentin" zusammengefassten Messungen.

Ränge			
	Gruppe	N	Mittlerer Rang
RmeanAxialDent	1	8	43.13
	2	8	22.50
	3	8	26.00
	4	8	27.50
	5	8	26.63
	6	8	32.00
	7	8	21.75
	Gesamt	56	
FmeanAxialDent	1	8	29.00
	2	8	20.50
	3	8	32.00
	4	8	33.88
	5	8	26.38
	6	8	33.50
	7	8	24.25
	Gesamt	56	

Statistik für Test^{a,b}

	RmeanAxialDent	FmeanAxialDent
Chi-Quadrat	9.578	4.601
df	6	6
Asymptotische Signifikanz	.144	.596

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppe

Tabelle 20 Nichtparametrische Varianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) für Rhodamin B und Fluorescein der zum Bereich "Occlusal Dentin" zusammengefassten Messungen.

Ränge			
	Gruppe	N	Mittlerer Rang
RmeanOcclusalDent	1	8	32.25
	2	5	20.40
	3	8	19.88
	4	8	29.75
	5	7	20.86
	6	6	22.00
	7	7	27.14
	Gesamt	49	
FmeanOcclusalDent	1	8	14.88
	2	5	30.20
	3	8	22.63
	4	8	30.75
	5	7	30.71
	6	6	23.33
	7	7	24.71
	Gesamt	49	

Statistik für Test^{a,b}

	RmeanOcclusalDent	FmeanOcclusalDent
Chi-Quadrat	5.501	7.400
df	6	6
Asymptotische Signifikanz	.481	.285

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppe